

**Уральский  
федеральный  
университет  
имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина**

# **ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ. НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

**Сборник материалов Всероссийской  
студенческой олимпиады, научно-  
практической конференции и выставки  
работ студентов, аспирантов  
и молодых ученых**

**Екатеринбург  
18-21 декабря  
2012**

Министерство образования и науки  
Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
**«Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**  
*Приоритетный национальный проект «Образование»*

**Энерго- и ресурсосбережение.  
Энергообеспечение.  
Нетрадиционные и возобновляемые  
источники энергии**

**Сборник материалов Всероссийской студенческой  
олимпиады, научно-практической конференции  
с международным участием и выставки работ  
студентов, аспирантов и молодых ученых  
18 - 21 декабря 2012 г.**

*Под общей редакцией  
профессора, д-ра экон. наук Н.И. Данилова*

Екатеринбург  
2012

**Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии:** Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции с международным участием и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 18-21 декабря 2012 г. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 428 с.

В сборник включены материалы и тезисы докладов, представленные на Всероссийской студенческой олимпиаде, научно-практической конференции и выставке. Тезисы докладов отражают широкий диапазон научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых вузов, предприятий и организаций России, стран СНГ и дальнего зарубежья по проблемам энергосбережения, энергообеспечения, повышения эффективности использования энергетических ресурсов и создания нетрадиционных, возобновляемых источников энергии.

***Организационный комитет:***

Кокшаров В.А. (председатель оргкомитета)

Князев С.Т. (сопредседатель оргкомитета)

Балдин В.Ю. (ответственный секретарь)

Кружаев В.В.

Козлов В.В.

Бродов Ю.М.

Капустин Ф.Л.

Шимов В.В.

Жуков А.А.

Барашев А.Р.

Май С.А.

Данилов Н.И.

Щеклеин С.Е.

Берг Б.В.

Дубинин А.М.

Рыжков А.Ф.

Ярошенко Ю.Г.

Велькин В.И.

Гольцев В.А.

Раков О.А.

Силин В.Е.

Тупоногов В.Г.

Коротов С.В.

Иваницкая Р.Л.

Алехин В.Н.

Кокин С.Е.

Плотников П.Н.

Моржерин Ю.Ю.

Бематерных М.А.

Малыгин В.Ю.

Мунц В.А.

Белоусов В.С.

Богатова Т.Ф.

Паздерин А.В.

Черных И.В.

Белоусова О.А.

Герасимова Е.С.

Немихин Ю.Е.

Селезнева И.С.

Толстова Ю.И.

Худякова Г.И.

**Участникам, организаторам и гостям  
Всероссийской студенческой олимпиады,  
научно-практической конференции и  
выставки работ студентов, аспирантов и  
молодых ученых «Энерго- и  
ресурсосбережение. Энергообеспечение.  
Нетрадиционные и возобновляемые  
источники энергии»!**

*Уважаемые участники, организаторы и гости  
Всероссийской студенческой олимпиады, выставки  
и научно-практической конференции!*

Энергообеспеченность страны – важнейший элемент государственной стратегии развития. Энергоэффективность и энергосбережение занимают приоритетные позиции во внутренней и внешней политике всех без исключения государств мирового сообщества.

Рациональное использование энергетических ресурсов является одним из наиболее важных вопросов для экономики нашей страны. Президент Российской Федерации не раз отмечал, что энергосбережение превращается в один из основных трендов всемирной экономики. Работу по энерго- и ресурсосбережению Президент назвал «ключевым направлением для модернизации экономики и социальной сферы страны».

Три года назад вступил в действие Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...». Принятый закон, действующая в стране Государственная программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года направлены на реализацию активно проводимой государством политики сбережения и рационального использования энергетических ресурсов.

Успешная реализация этой политики возможна только при активном участии молодых специалистов, способных с полным пониманием квалифицированно реализовывать конкретные мероприятия в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Поэтому сегодня отечественной экономике крайне необходим приток молодых высококвалифицированных инженеров и ученых со сформированной идеологией энергосбережения.

Губернатор Свердловской области неоднократно указывал на необходимость подготовки молодых специалистов инженерных профессий,



способных создавать новые и оптимизировать действующие процессы производства, передачи и потребления энергии, посвятить свои научную деятельность поиску новых источников энергии и способам эффективного их использования.

В Свердловской области все большее внимание уделяется вопросам стимулирования студентов, аспирантов и молодых ученых к творческой деятельности, в том числе участию в энерго- и ресурсосберегающих исследованиях и проектах. Особенно отмечу в этой связи результаты Института энергосбережения и кафедры «Энергосбережение» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, которые успешно осуществляют научно-методическую и образовательную деятельность по повышению энергетической эффективности экономики и подготовке кадров в Свердловской области.

Творчество молодежи активно поддерживается региональными органами государственной власти и бизнеса. Разработки молодых ученых и специалистов регулярно демонстрируются на выставках, конференциях и форумах. На международной выставке и форуме «ИННОПРОМ 2012» была презентована экспозиция энергоэффективных технологий, где особое место заняли проекты и материалы, разработанные при участии молодых специалистов.

Важно и впредь вовлекать молодых ученых и специалистов в систему информационного обмена, обобщать представленные результаты в области энерго- и ресурсосбережения, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, а также привлекать молодежь к научно-практическому творчеству. Считаю, что мероприятия Всероссийской студенческой олимпиады, конференции и выставки зарекомендовали себя как эффективная коммуникационная площадка для этих целей.

**Желаю всем участникам Всероссийской студенческой олимпиады, конференции и выставки плодотворной творческой работы по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики, успешной практической реализации творческих идей, успехов в освоении новых знаний и заслуженных побед!**

Министр энергетики и  
жилищно-  
коммунального  
хозяйства  
Свердловской области



Н.Б. Смирнов

# ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ – ДЕЛО МОЛОДЕЖИ

*Данилов Н.И.  
Кафедра «Энергосбережение» УрФУ,  
Государственное бюджетное учреждение Свердловской области  
«Институт энергосбережения» (ГБУ СО «ИнЭС»),  
СРО НП «Союз «Энергоэффективность»*

Ведущими мировыми учеными признано, что началась новая эпоха. Эрнст фон Вайцзекер в своей книге «Фактор 5» [1, 2] провозглашает ни больше, ни меньше как новый кондратьевский цикл мировой экономики – «зеленый». И этот новый цикл характеризуется, прежде всего, инновационными решениями в энерго- и ресурсосберегающих технологиях, новых экологических и возобновляемых источниках энергии.

Я воспринимаю это как личностную победу – сколько лет приходилось слышать упреки в нежизнеспособности и ненужности энергосберегающих идей. Но выросший на полярном круге и на Белом море, где привыкли беречь тепло, где недостаток пресной воды – я никогда не представлял, как можно иначе относиться к ресурсам. И вот сегодня ресурсосбережение и энергоэффективность стали общемировым трендом.

Поэтому я с удовлетворением говорю - настало наше время, время энергосберегателей. Тех, кто может применить свои профессиональные знания и навыки, чтобы помочь сэкономить ресурсы, средства, усилия.

У нас на глазах меняется мировоззрение, меняется весь мировой порядок. Меняется даже такая негибкая вещь, как российская нормативная база, которую не ругает только «ленивый». А между тем, еще в 2011 году вышло постановление федерального правительства, утвердившее перечень объектов и технологий высокой энергетической эффективности, инвестиции в которые дают право на инвестиционный налоговый кредит. Считаю это важнейшей вехой! Перечень задает нормативную планку энергоэффективности для 56 технологий в различных отраслях, на которую можно равняться. Более того, это означает, что появился реально действующий экономический стимул. Государство выставляет вешки, указывая субъектам хозяйственной деятельности дорогу.

Как никогда, сегодня становится востребована наша с вами компетенция – хозяйствующие субъекты все больше понимают, что надо изучать и применять на практике энергетический анализ хозяйственной деятельности. Без такого «энергетического бухгалтера» скоро не будет обходиться ни одно прогрессивное предприятие. Сейчас ведь все это начинается с энергетического обследования.

Еще одна серьезнейшая задача – разработка схем теплоснабжения, которые стали теперь обязательными. О какой солнечной энергетике можно всерьез говорить, когда потери в сетях достигают порой 50 %. И это тоже поле для нашей работы.

Для решения этих задач нужна фундаментальная система подготовки кадров. Мы последовательно работаем над ее созданием уже не первый год.

Издаются книги и учебные пособия, методические материалы. В этом году открыли набор и начали проводить занятия в магистратуре. Начал работать полигон энергоэффективности на базе Уральского федерального университета, где участники СРО НП «Союз «Энергоэффективность» могут получить практические знания и применять их в работе уже со следующего дня. Уже проведено несколько циклов подобных занятий.

Сегодня есть возможность и учиться, и практиковаться, и зарабатывать, – принося пользу людям и делая благое дело.

Большую роль в этом процессе играет кафедра «Энергосбережение» УрФУ, созданная решением Ученого совета УрФУ (ранее УГТУ-УПИ) от 1 декабря 1999 г. В составе кафедры в настоящее время 17 сотрудников, в том числе: профессоров, докторов наук – 4; доцентов, кандидатов наук – 7, преподавателей, высококвалифицированных специалистов – 2, инженеры, аспиранты, соискатели ученой степени.

В 2012 г. кафедрой начата подготовка магистров совместно с кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» по программе «Энергетические установки, электростанции и комплексы на базе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии» с углубленным изучением вопросов энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Первые магистранты (8 человек) – работники компаний, входящих в состав НП «Союз «Энергоэффективность» – СРО в области энергетических обследований.

Список основных изданий кафедры, разработанных и изданных в 2000-2012 гг. для специалистов в области энергосбережения, а также для студентов энергетических, технических и экономических специальностей и направлений подготовки, представлен в приложении к данному сборнику.

Важным элементом формирования системы энергосбережения и повышения энергетической эффективности региональной экономики стало создание в 2006 г. ГБУ Свердловской области «Институт энергосбережения» (ИнЭС).

За шесть лет Институт сформировался и утвердился как региональный межотраслевой центр по вопросам энергоэффективности, уполномоченный орган Правительства Свердловской области в реализации политики энергосбережения и повышения энергетической эффективности в регионе. После принятия в ноябре 2009 года Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» на ИнЭС возлагается особая ответственность как на организацию-координатора работ по энергосбережению в Свердловской области.

Коллектив Института насчитывает более 30 чел, в том числе 25 специалистов с высшим образованием, из них 5 кандидатов технических и экономических наук. Около половины кадрового состава ИнЭС – молодые ученые, специалисты, аспиранты. Молодежь находится на ответственных участках работ, руководит отделами и творческими коллективами Института. Молодые специалисты ИнЭС сертифицированы в качестве энергоаудиторов, термографистов, специалистов по проектированию систем теплоснабжения, а также в области энергетического менеджмента.

За эти годы творческий потенциал молодежи позволил достичь весомых результатов. Отделом экономико-энергетического анализа и прогнозирования

впервые разработан прогнозный топливно-энергетический баланс региона на долгосрочную перспективу – до 2020 года. Разработана методика расчета и составления рейтинга энергоэффективности муниципальных образований. Разработана и утверждена «Региональная программа по энергосбережению и повышению энергетической эффективности Свердловской области на 2010-2015 годы и целевые установки на период до 2020 года». Программа представлена и одобрена на заседании Комиссии при Президенте РФ по модернизации и технологическому развитию экономики России.

ИнЭС является инициатором разработки комплексных программ повышения энергоэффективности территорий в Свердловской области.

Молодые специалисты отдела энергоэффективных зданий активно участвуют в работе по повышению энергоэффективности реконструируемых и вновь возводимых зданий. Осуществляется научно-техническое сопровождение экспериментальной площадки Свердловской области по разработке и внедрению энергоэффективных технологий при строительстве микрорайона «Академический». На основании проведенных исследований определена «Концепция разработки и внедрения энергоэффективных технологий в планировочном районе «Академический» в городе Екатеринбурге на период до 2025 года», утвержденная Распоряжением Губернатора Свердловской области. Реализация Концепции позволяет разработать рекомендации по созданию жилого дома с уменьшенным потреблением тепловой энергии и вводить в эксплуатацию дома высокого класса энергоэффективности.

В основе разработки мероприятий по повышению энергоэффективности лежат энергетические обследования. Закон № 261-ФЗ придает этому особое значение. Энергетический аудит позволяет определить фактическое состояние объекта и его соответствие действующим нормативам, выявить резервы энергосбережения и экономии ресурсов, разработать мероприятия и программы по повышению энергоэффективности и энергосбережению.

Владея современными приборами для проведения комплексных приборных энергетических обследований, включая термографию, молодые специалисты ИнЭС выполняют большой объем работ по энергоаудиту. За 5 лет Институтом энергосбережения выполнено более 50 энергообследований зданий, предприятий, инженерных сетей, муниципальных образований, включая тепловизионный контроль, и даны рекомендации по энергетической санации объектов.

Одним из важных направлений работы ИнЭС является энергетическая паспортизация и лимитирование топливно-энергетических ресурсов, потребляемых бюджетными организациями. Для этого в Институте энергосбережения разработана и введена в действие АСУ «Лимитирование ТЭР». Упорядочение процесса лимитирования ТЭР бюджетных организаций позволит реализовать требование Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» о ежегодном сокращении потребления энергоресурсов на 3 %.

В Институте создается информационная база данных в области энергосбережения и повышения энергоэффективности, адаптированная к Государственной информационной системе. Полученные результаты позволили в рамках

научно-методической работы в ИнЭС создать целый ряд уникальных методических разработок:

- Методика расчета показателей регионального топливно-энергетического баланса, энергоэффективности региональной экономики, отраслей и видов экономической деятельности;
- Методика рейтинговой оценки муниципальных образований по энергоэффективности;
- В соавторстве разработана Методика проведения энергетических обследований бюджетных организаций, утвержденная приказом министра энергетики и ЖКХ Свердловской области;
- Методика энергетических обследований систем электро-, тепло-снабжения объектов ЖКХ; систем транспорта тепловой энергии (тепловых сетей); котельных; подразделений электрических сетей;
- Временный регламент согласования «Энергетических паспортов организаций» и «Технических паспортов котельных»;
- Пособие по оценке эффективности работы котельных в системах коммунального теплоснабжения.

Молодые специалисты активно участвуют в образовательной деятельности в области энергосбережения и энергоэффективности, предусмотренной Государственной программой мероприятий по реализации Закона об энергосбережении № 261-ФЗ. За 5 лет совместно с кафедрой «Энергосбережение» УрФУ подготовлено более 10000 студентов. По программам повышения квалификации специалистов организаций бюджетной сферы, ЖКХ и промышленности – около 1400 человек, в том числе 636 специалистов-энергоаудиторов.

Результаты исследований и разработок отражены в ряде публикаций. За период 2007-2011 годы с участием молодых специалистов ИнЭС подготовлено и опубликовано более 100 статей, научных и учебно-методических работ, более 60 аналитических записок и 100 отчетов по выполненным НИР. Издается серия брошюр для профессионалов энергетического сектора «Энергетическая составляющая успеха», где освещаются передовые аналитические разработки, лучший зарубежный опыт, теория и практика энергосбережения.

В своей работе коллектив ИнЭС привержен одной идее: «Устойчивой экономике – устойчивую энергетику». Реализации этой идеи во многом способствует творческий потенциал молодых специалистов ГБУ СО «Институт энергосбережения».

Верю, что только совместными усилиями и только так мы сможем ответить на вызовы. А значит – стать нужными и успешными.

#### *Библиографический список*

1. Factor Five / Ernst von Weizsäcker, Karlson 'Charlie' Hargroves, Michael H. Smith, Cheryl Desha, Peter Stasinopoulos. The Natural Edge Project. London: Sterling, VA, 2009. 400 p.
2. Экономике придется зеленеть. Новые технологии помогут отдалить дефицит ресурсов и экологические катастрофы // Эксперт. 2012. № 21 (804) [Электронный ресурс] URL: <http://expert.ru/expert/2012/21/ekonomike-pridetsya-zelenet/>

**ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ВСЕРОССИЙСКОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ  
ОЛИМПИАДЫ (III ТУР) «ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»,  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ,  
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И ВЫСТАВКИ НАУЧНО-  
ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА МОЛОДЕЖИ «ЭНЕРГО- И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ.  
НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ  
ЭНЕРГИИ» 2011 ГОДА**

*Балдин В.Ю., Селезнева И.С., Герасимова Е.С.  
УрФУ, v.u.baldin@ustu.ru*

В течение одиннадцати лет, с 2001 г. в УрФУ (ранее – в УГТУ-УПИ) проводятся учебно-научные молодежные мероприятия по энерго- и ресурсосбережению, в которых за это время приняли участие свыше 2700 человек из нескольких десятков вузов России.

Организаторами мероприятий являются: зав. кафедрой «Энергосбережение», проф., д-р экон. наук Н.И. Данилов, зав. кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», проф., д-р техн. наук В.А. Мунц, зав. кафедрой «Атомных станций и возобновляемой энергетики», проф., д-р техн. наук С.Е. Щеклеин.

***Всероссийская студенческая олимпиада***

В 2011 г. соответствии с приказом Минобрнауки РФ от 23.12.2010 г. № 1990 (Приложение, поз. 4), в УрФУ в период 13-14 декабря 2011 г. проводился III (заключительный) тур Всероссийской студенческой олимпиады «Энерго- и ресурсосбережение».

*Олимпиада проведена по двум номинациям для студентов старших курсов следующих направлений подготовки:*

- *140100 – Теплоэнергетика, для студентов специальностей 140104 – Промышленная теплоэнергетика (ПТЭ); 140106 – Энергообеспечение предприятий (ЭОП); а также*
- *140200 – Электроэнергетика, для студентов специальности 140202 – Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (НиВИЭ).*

В этом году в олимпиаде, кроме УрФУ, участвовали команды 6 вузов (в общей сложности – 10 команд 7 вузов):

- 1) Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ МЭИ), г. Москва;
- 2) Альметьевский государственный нефтяной институт (АГНИ), г. Альметьевск;
- 3) Вятский государственный университет (ВятГУ), г. Киров;
- 4) Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина (ИГЭУ), г. Иваново;
- 5) Ижевский государственный технический университет (ИжГТУ), г. Ижевск;
- 6) Челябинская государственная агроинженерная академия (ЧГАА), г. Челябинск.

По итогам командных соревнований студентов специальностей 140104 ПТЭ, 140105 (ЭТТ) и 140106 (ЭОП) заняли:

1 место – команда Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт» (НИУ МЭИ), в составе:

1.	Тарарыков Алексей Валерьевич
2.	Бобкова Анастасия Геннадьевна
3.	Пурдин Михаил Сергеевич

2 место – команда Ивановского государственного энергетического университета (промышленная теплоэнергетика);

1.	Крылов Алексей Романович
2.	Чусов Александр Олегович
3.	Русаков Андрей Васильевич

3 место – команда Ивановского государственного энергетического университета (Энергообеспечение предприятий);

1.	Копылов Виталий Михайлович
2.	Матасов Эдуард Дмитриевич
3.	Пророкова Мария Владимировна

4 место – команда Ижевского государственного технического университета (ИжГТУ);

5 место – команда Вятского государственного университета (ВятГУ);

6 место – команда УрФУ (ПТЭ-1) (г. Екатеринбург);

7 место – команда Альметьевского государственного нефтяного института.

В индивидуальном первенстве победителем олимпиады по номинации *Промышленная теплоэнергетика, Энергообеспечение предприятий и Энергетика теплотехнологий* признан студент Ижевского государственного технического университета (ИжГТУ), занявший 1 место:

РУССУ Владимир Андреевич.

Призерами олимпиады по номинации *Промышленная теплоэнергетика, Энергообеспечение предприятий и Энергетика теплотехнологий* признаны студенты:

2 место – Чусов Александр Олегович (студент Ивановского государственного энергетического университета (промышленная теплоэнергетика));

3 место – Бобкова Анастасия Геннадьевна (студент Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт»).

Награждение по результатам индивидуального первенства проводили заведующий кафедрой «Энергосбережение» УрФУ, проф. Данилов Николай Игоревич и заместитель председателя Региональной энергетической комиссии Свердловской области Обухов Алексей Юрьевич.

Первое и второе место по номинации по специальности «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» присуждено командам УрФУ в составе:

1.	Титова Наталья Сергеевна
2.	Гладилов Андрей Александрович
3.	Бунькова Елена Александровна
4.	Серкова Елена Владимировна

Третье место заняла команда Челябинской государственной агроинженерной академии (ЧГАА), г. Челябинск в составе:

1.	Шарпилов Антон Юрьевич
2.	Чигак Алексей Сергеевич

В индивидуальном первенстве победителем олимпиады по специальности «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» признана студентка 5 курса УрФУ, занявшая 1 место:

ТИТОВА Наталья Сергеевна.

В награждении победителя участвовал начальник отдела Научно-производственного предприятия «ЭЛЕКОМ», учредившего призы, А.А. Нестеров.

Студентка Титова Н.С. награждена за 1 место в олимпиаде по специальности «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» и за выполненную научно исследовательскую работу по теме «Исследование характеристик прямого этанольного топливного элемента (ПЭТЭ)».

2 место занял студент 4 курса УрФУ ГЛАДИКОВ Андрей Александрович.

3 место – студентка 5 курса УрФУ БУНЬКОВА Елена Александровна.

В награждении призеров, занявших места со 2 по 6 в индивидуальном первенстве, участвовал директор Муниципального бюджетного учреждения «Энергосбережение» города Екатеринбурга, учредившего призы, Клюкин Александр Михайлович.

### ***Итоги научно-практической конференции***

Традиционно в этот период проводится Всероссийская научно-практическая конференция (НПК) студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» с международным участием.

В НПК в декабре 2011 г., кроме вузов-участников олимпиады, выступили с докладами представители вузов:

- 1) Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск;
- 2) Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск;
- 3) Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, г. Тюмень;
- 4) Самарский государственный технический университет, г. Самара;
- 5) Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань;
- 6) Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти.



В УрФУ приехали более 50 представителей из 12 вузов России. На пленарном заседании и трех секциях конференции заслушано более 60 докладов. Всего в сборнике материалов олимпиады, выставки и конференции объемом 508 страниц опубликовано более 200 докладов.

Среди авторов докладов студенты, аспиранты и молодые ученые из 30 вузов, академических институтов и научно-производственных организаций, в том числе зарубежных - из Германии, Франции и Казахстана.

За лучшие доклады на Пленарном заседании и на секции «Энергосбережение» отмечены:

Поз.	Ф.И.О. докладчиков	Вуз	Название доклада
<i>Пленарное заседание</i>			
1.	Трубицын К.В., Ткачев В.К.	<i>Самарский государственный технический университет</i>	Кадровый дефицит в энергетике: влияние на инновационное развитие отрасли
<i>Секция «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности. Энергообеспечение»</i>			
2.	Дёмин Ю.К.	<i>Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова</i>	Исследование энергоэффективности системы промежуточного охлаждения при производстве сжатого воздуха
3.	Матвеев С.В.	<i>Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова</i>	Исследование возможности утилизации теплоты жидкой стали
4.	Бадретдинова Р.Р.	<i>Альметьевский государственный нефтяной институт</i>	О возможности когенерации в водогрейных котельных с использованием хладагента в качестве рабочего тела
5.	Носков И.Ю.	<i>Тюменский государственный архитектурно-строительный университет</i>	Энергосбережение центров обработки данных (ЦОД)
6.	Оглеzneв А.Ю.	<i>УрФУ, ИММт</i>	Исследование влияния добавок на технологические свойства масс для производства глиняного строительного кирпича
7.	Ширяев А.С.	<i>УрФУ, УралЭНИН</i>	Эффективность размыкания замкнутых электрических сетей
<i>Поощрительные дипломы</i>			
8.	Пурдин М.С.	<i>НИУ «Московский энергетический институт»</i>	Анализ влияния типа тепловой изоляции на тепловые потери через ограждающие конструкции
9.	Трофимова Т.В.	<i>Альметьевский государственный нефтяной институт</i>	Отопление промышленных объектов на базе индукционных котлов

10.	Баев В.Р.	<i>Вятский государственный университет, г. Киров</i>	Об энергетической целесообразности использования абсорбционных тепловых насосов для теплоснабжения
11.	Кучеренко М.Н.	<i>Тольяттинский государственный университет</i>	Энергоэффективность комбинированной системы вентиляции в жилых зданиях
12.	Рябченко Р.А.	<i>УрФУ, ИММт</i>	Керамический строительный кирпич на основе глины, содержащих карбонаты
13.	Малоземова О.Ю.	<i>УрФУ, УралЭНИИ</i>	Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии: перспективные направления в энергетике

За лучшие доклады на секции «Ресурсосбережение и повышение экологической эффективности» отмечены:

Поз.	Ф.И.О. докладчиков	Вуз	Название доклада
1.	Щукина Н.С., Мангилева Н.А.	<i>УрФУ, ИММт</i>	Получение ультрадисперсных порошков и пленок металлов 3d ряда
2.	Новоселова М.С.	<i>УрФУ, ИММт</i>	Сульфатная активация шлаков дуговых электропечей
3.	Кудренко А.С.	<i>УрФУ, ИММт</i>	Утеплитель на основе отходов стекольной промышленности
4.	Московских Н.Н.	<i>УрФУ, ИММт</i>	Получение сверхтекучих форстеритовых шликеров с использованием новых комплексных добавок
5.	Ашуров О.Т., Баклюк М.В.	<i>УрФУ, ХТИ</i>	Исследование процесса термического разложения фосфогипса с целью получения вяжущего материала
6.	Чистякова Е.К., Сумина Е.А.	<i>УрФУ, ИММт</i>	Низкоэнергоемкий способ изготовления художественных изделий из стекла
7.	Фазлутдинов К.К.	<i>УрФУ, ХТИ</i>	Проблемы экологии и ресурсосбережения в гальваническом производстве России
<i>Поощрительные дипломы</i>			
1.	Койтеева М.Г.	<i>УрФУ, ИММт</i>	Производство серных бетонов и утилизация промышленных отходов
2.	Лукиянова Е.А.	<i>УрФУ, ИММт</i>	Применение стекломалевых покрытий для снижения потерь металла и повышения энергоэффективности при горячей прокатке стали
3.	Патрушев А.В.	<i>УрФУ, ХТИ</i>	Электроосаждение дисперсного осадка цинка и никеля при гальваностатическом электролизе

За лучшие доклады на секции «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Малая энергетика» отмечены:

Поз.	Ф.И.О. докладчика	Вуз	Название доклада
1.	Семенов А.Ю.	<i>Челябинская государственная агроинженерная академия</i>	Особенности использования солнечной энергии в системе нагрева двигателя Стирлинга

2.	Рахматуллин И.Р.	<i>Южно-Уральский государственный университет</i>	Использование возобновляемых источников энергии для очистки воды
3.	Архипова И. Г.	<i>Альметьевский государственный нефтяной институт</i>	Пеллетные котлы – альтернатива котлам на газовом топливе
4.	Чигак А. С.	<i>Челябинская государственная агроинженерная академия</i>	Особенности автономного электроснабжения путем использования солнечной энергии
5.	Серкова Е.В.	<i>УрФУ, УралЭНИИ</i>	Замена люминесцентного освещения на светодиодное с использованием солнечных фотоэлектрических преобразователей в 8-м учебном корпусе УрФУ
6.	Четошников С.А.	<i>Южно-Уральский государственный университет</i>	Разработка программы для определения ветрового потенциала местности и расчета параметров ВЭУ
7.	Шарпилов А. Ю.	<i>Челябинская государственная агроинженерная академия</i>	Оптимизация энергопотребления лабораторной биогазовой установки
8.	Завьялов А.С.	<i>УрФУ, УралЭНИИ</i>	Разработка конструкции механического гелиотропа для повышения производительности ФЭП

Все победители и призеры получили дипломы оргкомитета, а также книги ведущих специалистов УрФУ, выпущенные специально к проводимым мероприятиям:

1. Щелоков Я.М., Данилов Н.И. Энергетическое обследование: справочное пособие: В 2-х томах. Том 1. Теплоэнергетика. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 264 с.
2. Щелоков Я.М. Энергетическое обследование: справочное издание: В 2-х томах. Том 2. Электротехника. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 150 с.
3. Данилов Н.И., Щелоков, Я.М. Лисиенко В.Г. Цветная металлургия: проблемы, технологии, энергетические системы. Учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, ГБУ СО «Институт энергосбережения», 2011. 84 с.

Участники олимпиады и научно-практической конференции получили свидетельства участников.

### ***Выставка научно-технического творчества студентов, аспирантов и молодых ученых***

В период 14-16 декабря 2011 г. в рамках Форума «Энерго-ПромЭкспо 2011» проходит выставка научно-технического творчества студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

На выставке были представлены 40 экспонатов УрФУ: 20 – Уральского энергетического института, 12 экспонатов Института материаловедения и металлургии, 7 – Строительного института, 1 – Химико-технологического института, а также экспонат Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова и экспонаты Энергетического техникума (г. Екатеринбург).

По результатам выставки 16 декабря 2011 г. получено 6 золотых медалей (в том числе одна медаль вручена студентам МГТУ им Носова, г. Магнитогорск) и 25 дипломов.

В соответствии с решением экспертной комиссии по подведению итогов Всероссийской выставки научно-технического творчества студентов, аспирантов и молодых ученых:

1. Медалями Всероссийского Форума «Энерго-ПромЭкспо 2011» награждены следующие студенты, аспиранты и молодые ученые:

Поз.	Авторы работы	Институт	Название работы	Руководители
1.	Матвеев Сергей Валерьевич, Демин Юрий Константинович	Институт энергетики и автоматики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»	Установка по непрерывной скоростной разливке стали	Картавцев Сергей Владимирович
2.	Шеломенцев Иван Антонович, Гладиков Илья Александрович	Уральский энергетический институт УрФУ	Биоэнергетический комплекс	Арбузова Елена Валерьевна
3.	Кафедра турбины и двигатели	Уральский энергетический институт УрФУ	Модернизация тепломеханического оборудования ТЭС – современные методы повышения надежности и эффективности работы кожухотрубных теплообменных аппаратов	Бродов Юрий Миронович, зав. кафедрой
4.	Фазлутдинов Константин Камилевич	Химико-технологический институт УрФУ	Простые экологически безопасные и ресурсосберегающие технологии в гальванотехнике	Ахлюстин Алексей Сергеевич
5.	Койтеева Марина Геннадьевна	Институт материаловедения и металлургии УрФУ	Утилизация промышленных отходов при производстве серных бетонов	Васильев Виктор Георгиевич, Владимирова Елена Владимировна, Герасимова Екатерина Сергеевна, Карпова Татьяна Сергеевна

Также отмечен медалью Форума «Энерго-ПромЭкспо 2011» коллектив кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Строительного института за комплекс учебно-методических разработок для подготовки и переподготовки специалистов по направлению «Энергосбережение в зданиях».

2. Дипломами Всероссийского форума «Энерго-ПромЭкспо 2011» награждены следующие студенты, аспиранты и молодые ученые:

Поз.	Авторы работы	Институт	Название работы	Руководители
1	Девярых Евгений Андреевич	Институт материаловедения и металлургии	Разработка программного обеспечения для расчета оптимального состава шихты в доменной плавке	Лавров Владислав Васильевич
2	Русинова Екатерина Олеговна	Институт материаловедения и металлургии	Керамические шликеры, содержащие добавки нового поколения	Турлова Ольга Владимировна
3	Рябченко Роман Александрович	Институт материаловедения и металлургии	Керамический строительный кирпич на основе глин, содержащих карбонаты	Иванова Алевтина Валерьяновна
4	Московских Наталья Николаевна	Институт материаловедения и металлургии	Сверхтекучие форстеритовые шликеры с использованием новых комплексных добавок	Земляной Кирилл Геннадьевич
5	Кудренко Алена Сергеевна	Институт материаловедения и металлургии	Утеплитель на основе отходов стекольной промышленности	Власова Светлана Геннадьевна
6	Кочнева Анна Андреевна, Новоселова Мария Сергеевна	Институт материаловедения и металлургии	Шлаковое вяжущее	Уфимцев Владислав Михайлович
7	Бражеловский Георгий Борисович	Строительный институт	Мембранные устройства для очистки природных и сточных вод с магнитной обработкой	Мигалатий Евгений Васильевич
8	Постникова Анна Юрьевна	Строительный институт	Тепло- и холодогенерирующие системы на базе вихревой трубы	Носков Александр Семенович
9	Шумилова Анна Андреевна, Акулич Елена Викторовна	Строительный институт	Повышение энергоэффективности систем отопления при комбинированном регулировании тепловой нагрузки	Ширяева Нина Павловна
10	Фурманенко Дмитрий Евгеньевич	Строительный институт	Использование вторичных энергоресурсов для теплоснабжения промплощадки Качканарского ГОК	Толстова Юлия Исааковна
11	Разживина Мария Александровна, Гесс Ирина Александровна	Строительный институт	Комбинированные системы теплоснабжения с использованием гелиоустановок	Михайлишин Евгений Васильевич

12	Гордеев Сергей Иванович, Курбанова Сажида Илшатовна, Ременюк Анастасия Васильевна, Никулина Алиса Юрьевна, Вальцев Николай Владимирович, Осипов Павел Валентинович, Попов Александр Владимирович, Махаев Антон Дмитриевич	Уральский энергетический институт	Разработка технологии получения из низкосортных топлив искусственного газа энергетического и технологического назначения	Рыжков Александр Филиппович, Богатова Татьяна Феокистовна, Силин Вадим Евгеньевич
13	Желонкин Николай Владимирович, аспирант, Мурманский Илья Борисович	Уральский энергетический институт	Физическая модель рабочих поверхностей турбины и теплообменного аппарата с профильными витыми трубами	Бродов Юрий Миронович
14	Титова Наталья Сергеевна, Бойкачев Евгений Дмитриевич	Уральский энергетический институт	Исследование модели прямого этанольного топливного элемента FCJJ-22	Немихин Юрий Евгеньевич
15	Серкова Елена Владимировна	Уральский энергетический институт	Анализ использования солнечных фотоэлектрических преобразователей в 8 учебном корпусе УрФУ	Велькин Владимир Иванович
16	Завьялов Алексей Сергеевич	Уральский энергетический институт	Разработка конструкции механического гелиотропа для повышения производительности ФЭП	Велькин Владимир Иванович
17	Дремина Светлана Сергеевна	Уральский энергетический институт	Тепловой насос с грунтовым зондом для энергоэффективного дома	Велькин Владимир Иванович
18	Абрамов Станислав Олегович, Соколова Маргарита Сергеевна, Дорогинин Евгений Владимирович	Уральский энергетический институт	Снижение эрозионно-коррозионного износа систем АЭС с помощью гидродинамического моделирования	Ташлыков Олег Леонидович
19	Наумов Алексей Александрович, Анников Сергей Валерьевич, Кокорин Владимир Витальевич	Уральский энергетический институт	Повышение эффективности удаления радиоактивных отложений с поверхности оборудования и трубопроводов	Ташлыков Олег Леонидович
20	Филипенко Анастасия Анатольевна	Уральский энергетический институт	Об эффективности работы в потоке лопастных роторов	Попов Александр Ильич, Щеклеин Сергей Евгеньевич
21	Шеломенцев Иван Антонович	Уральский энергетический институт	Энергонезависимый комплекс телевизионного мониторинга зон ответственных объектов	Велькин Владимир Иванович, Щеклеин Сергей Евгеньевич, Немихин Юрий Евгеньевич

22	Бунькова Елена Александровна, Худяков Павел Юрьевич	Уральский энергетический институт	Система для мониторинга и управления теплоснабжением зданий	Жилкин Борис Прокопьевич, Шевелёв Максим Михайлович, директор «Центра тепловизионной диагностики»
23	Крупенькина Светлана Николаевна	Уральский энергетический институт	Влияние газонаполнителя на тепловые потери через межстекловое пространство	Жилкин Борис Прокопьевич
24	Дагаев Артем Валерьевич	Уральский энергетический институт	Низконапорная микро-миниГЭС	Попов Александр Ильич, Щеклеин Сергей Евгеньевич
25	Попова Дарья Владимировна	Уральский энергетический институт	Модификация ветроколеса для ВЭУ с использованием свойств ленты Мебиуса	Попов Александр Ильич

3. Свидетельствами участника Всероссийской выставки научно-технического творчества студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» отмечены следующие студенты, аспиранты и молодые ученые:

Поз.	Авторы работы	Институт	Руководители
1	Альбаева Индира Илдаровна, Лагунова Екатерина Юрьевна, Саетова Наиля Саетовна	Институт материаловедения и металлургии	Власова Светлана Геннадьевна
2	Гныра Дмитрий Владимирович, Гушин Павел Сергеевич, Карапетян Каро Александрович	Уральский энергетический институт	Велькин Владимир Иванович
3	Кокорин Владимир Витальевич, Соколова Маргарита Сергеевна	Уральский энергетический институт	Шастин Арнольд Георгиевич
4	Якимов Ю.А.	Уральский энергетический институт	Якимов А.И., Попов Александр Ильич
5	Трошина М.Д.	Строительный институт	Ширяева Нина Павловна

Работа организаторов проведения Форума и выставки от УрФУ отмечена благодарственными письмами Министра энергетики и ЖКХ Свердловской области Н.Б. Смирнова.

Информация об этих мероприятиях находится на сайте УрФУ <http://www.ustu.ru/science/energy>, а также на сайте «СоюзПромЭкспо» <http://www.souzpromexpo.ru/>.

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ANSYS'А ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

*Абаимов Н.А., Змеева А.В., Филиппов П.С., Махаев А.Д.  
УрФУ, tes.urfu@mail.ru*

Программный комплекс ANSYS является универсальной программной системой конечно-элементного анализа. Он относится к числу лидеров по популярности у специалистов компьютерного инжиниринга (CAE, Computer-Aided Engineering) и имеет почти сорокалетний опыт в решении прикладных задач численными методами. В настоящее время программный комплекс ANSYS охватывает практически все виды инженерного анализа: от механики деформируемого твердого тела и теплового анализа до гидрогазодинамики и анализа процессов горения, взрыва, тепломассообмена и фазовых переходов, электродинамики [1]. Моделирование и анализ в некоторых областях промышленности позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование – изготовление – испытания» [2].

В связи с всевозрастающей популярностью математического моделирования и компьютерного инжиниринга многие исследователи из самых разных областей технических наук начинают прибегать к такого рода программным комплексам. К тому же доступность таких методов решения инженерных задач непрерывно растёт – вычислительные комплексы увеличивают свою мощность, при этом уменьшаясь в размерах и снижая свою стоимость. Всё это даёт возможность всё большему числу исследователей переходить к дешёвым, быстрым и достаточно простым CAE-продуктам, таким как ANSYS.

Тем самым в научно-исследовательской среде возникает повышенный спрос на специалистов компьютерного инжиниринга. Возникла потребность в обучении студентов данным методам решения инженерных задач. Но так как отечественные программные продукты начали появляться на рынке достаточно недавно и в большинстве своем уступают по функционалу и гибкости своим зарубежным аналогам, то всю большую востребованность стали получать программные продукты иностранного производства. Что вызвало острую нехватку источников информации на русском языке, а также методических программ обучения студентов соответствующих специальностей.

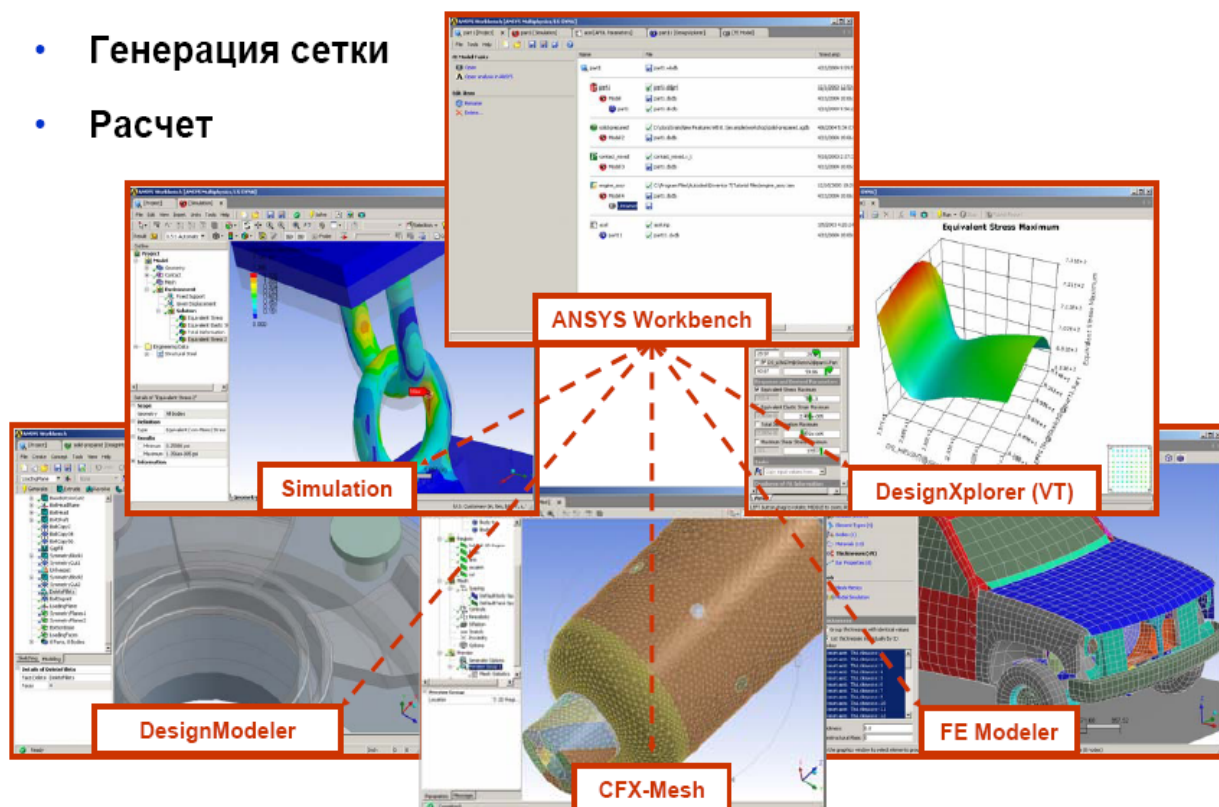
В сложившейся ситуации начали появляться профессиональные переводы англоязычных источников. С начала двухтысячных годов переводами и собственными разработками начал заниматься целый ряд отечественных специалистов, таких как К.А. Басов, А.Б. Каплун, А.В. Чигарев и другие. Особенно здесь можно отметить О.М. Огородникову, канд. физ.-мат. наук, доцента УрФУ, которая является руководителем Техноцентра компьютерного инжиниринга, организованного в 2004 г. на базе Уральского государственного технического университета–УПИ [3]. Один из наиболее актуальных трудов был написан В.А. Бруйка в 2010 г. [1]. Вместе с этим с октября 2005 г. начал издаваться русскоязычный инженерно-технический журнал «ANSYS Advantage. Русская редакция», являющийся официальным печатным органом компании ANSYS, Inc [4]. Благодаря универсальности и многофункциональности ANSYS'а существу-



ет возможность использования общих методик выполнения задач определённых стадий моделирования.

Например, в сборнике учебных материалов по расчёту конструкций в ANSYS O.M. Огородниковой разобран ряд тем, касающихся как исключительно конструкционного анализа, а также вопросы, касающиеся любого исследователя, работающего в данном CAE-продукте. На рисунке представлены модули ANSYS Workbench версии 10 из данного сборника [5].

- Создание геометрической модели
- Генерация сетки
- Расчет



Модули ANSYS Workbench версии 10

Определённые проблемы могут возникать в связи с уклоном большинства работ в сторону механико-машиностроительной тематики и, соответственно, нехваткой специализированной литературы из области теплоэнергетики и гидродинамики. Кроме проблем, связанных с нахождением информации именно по теплоэнергетической тематике, возможно несовпадение версий программы. Несмотря на практически не меняющуюся методику работы на протяжении нескольких последних версий, возможны некоторые несовпадения, поэтому за самой последней и достоверной информацией рекомендуется обращаться на официальный сайт программы [6].

Следуя последним тенденциям развития научно-технических путей и методов решения инженерных задач, кафедра тепловых электрических станций УрФУ обучает студентов старших курсов и магистрантов данному пакету при-

кладных программ. Ввиду отсутствия исчерпывающих источников информации на русском языке, обучение строится на выполнении лабораторных работ, встроенных в саму программную систему. Возникающие вопросы и трудности решаются вместе с руководителем лабораторных занятий.

Благодаря достаточно серьёзному изучению пакета инженерно-прикладных программ ANSYS уже в 2012 г. магистранты использовали данные программы при написании своих диссертаций. Это позволило повысить качество полученных результатов и более глубоко проработать соответствующие вопросы. Ожидается, что и в будущем студенты кафедры будут применять данную программную систему при проведении исследований и написании выпускных работ.

Кроме того, ANSYS используется кафедрой при работе над элементами гибридной угольной ПГУ с воздухонагревателем [7, 8]. В частности, моделируется процесс горения в камере дожигания, теплообмен в высокотемпературном теплообменнике [9, 10], а также газификация топлива в поточном газификаторе [11]. Применение методов компьютерного инжиниринга снижает затраты времени, повышает число возможных рассматриваемых вариантов, а также увеличивает качество получаемых результатов работы.

#### *Библиографический список*

1. Бруйка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учеб. пособ. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. 271 с.
2. Басов К.А. ANSYS для конструкторов. М.: ДМК Пресс, 2009. 248 с.
3. Техноцентр компьютерного инжиниринга. URL: <http://cae.ustu.ru/cont/about.htm> (дата обращения 1.12.12).
4. ANSYS Advantage. Русская редакция. URL: <http://www.ansyssolutions.ru/?id=2> (дата обращения 1.12.12).
5. Огородникова О.М. Компьютерный инженерный анализ: учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 205 с.
6. Ansys. URL: <http://www.ansys.com/> (дата обращения 1.12.12).
7. О предпроектной проработке гибридной угольной ПГУ с воздухонагревателем / С.И. Гордеев, Н.В. Вальцев, Т.Ф. Богатова [и др.] // Электрические станции. 2012. № 10. С. 17-21.
8. Махаев А.Д., Рыжков А.Ф., Вальцев Н.В. [и др.] Физико-математическое моделирование термохимической конверсии при газификации // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2012.
9. Моделирование радиационного элемента высокотемпературного воздухонагревателя / А.В. Ременюк, В.А. Микула, А.Ф. Рыжков [и др.] // Электрические станции. 2012. № 10. 36-39 с.
10. Моделирование высокотемпературного воздухонагревателя для ПГУ на твёрдом топливе / А.В. Ременюк, В.А. Микула, А.Ф. Рыжков, А.Д. Махаев // Горение твёрдого топлива: Тезисы докладов VIII Всероссийской конференции с международным участием, 13-16 ноября 2012 г. Новосибирск, 2012. 108. с.
11. Численное моделирование термохимической конверсии угля парокислородная одностадийная газификация частиц углерода в поточном осесимметричном реакторе / А.Д. Махаев, А.Ф. Рыжков, Н.В. Вальцев и др. // Труды XIV Минского международного форума по тепломассообмену, 10-13 сентября 2012 г. (Минск, Беларусь). Минск: ИТМО НАН Беларуси, 2012.

## АНАЛИЗ ОСВЕЩЕННОСТИ УЧЕБНЫХ АУДИТОРИЙ

*Адамык Я.А., Барышев Е.Е.  
УрФУ, yana.adamyk@mail.ru*

В России на нужды освещения расходуется до 13 % вырабатываемой электроэнергии. Комфортные условия для жизнедеятельности и высокой производительности труда определяет качественное освещение. Недостаточное освещение отрицательно влияет на функционирование зрительного аппарата, то есть определяет зрительную работоспособность, влияние на психику человека, его эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы. Установлено, что свет, помимо обеспечения зрительного восприятия, воздействует на нервную оптико-вегетативную систему, систему формирования иммунной защиты, рост и развитие организма и влияет на многие основные процессы жизнедеятельности, регулируя обмен веществ и устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Сравнительная оценка естественного и искусственного освещения по его влиянию на работоспособность показывает преимущество естественного света. Неравномерное освещение может создавать проблемы адаптации, снижая видимость. Работая при освещении плохого качества или низких уровней, люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. В ряде случаев это может привести к головным болям. Причинами во многих случаях являются слишком низкие уровни освещенности, слепящее действие источников света и соотношение яркостей.

Среди качественных показателей световой среды очень важным является коэффициент пульсации освещенности ( $K_p$ ). Коэффициент пульсации освещенности — это критерий оценки глубины колебаний (изменений) освещенности, создаваемой осветительной установкой, во времени. Требования к коэффициенту пульсации освещенности наиболее жесткие для рабочих мест с ПЭВМ — не более 5 %. Для других видов работ требования к коэффициенту пульсации освещенности ( $K_p$ ) менее жесткие, но величина  $K_p$  должна быть более 20 %.

На данный момент практически на каждом втором рабочем месте не выполняются требования по нормам коэффициента пульсации. Данную проблему можно обнаружить при проведении аттестации рабочих мест. Но выполняются ли требования в учебных заведениях? Чтобы это выяснить, мы решили проверить качество освещения в учебных аудиториях Уральского энергетического института (аудитории электротехнического направления). Освещенность и коэффициент пульсации замеряли прибором Октава (Экофизика-110В). Замеры проводились в темное время суток, так как естественный свет поглощает пульсацию светового потока.

Замеры проводили в 15 аудиториях (5 и 4 этаж). В 7 аудиториях освещенность рабочих поверхностей соответствует нормам, но коэффициент пульсации имеет значения от 15 % до 37 %. В других аудиториях, которые были недавно отремонтированы,  $K_p$  соответствует нормам (1-2 %), но освещенность рабочей

поверхности (письменного стола) составляет 900-1200 лк и превышает нормы практически в 2-3 раза (в соответствии СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» в аудиториях высших учебных заведений освещенность на столах и партах должна составлять 400 лк, а  $K_p \leq 10\%$ ). Рекреация пятого этажа освещается 44 светильниками (в каждом установлено по 4 лампы, всего 176 ламп), освещенность составляет от 450 до 600 лк, что превышает норму в 3-4 раза и создает лишние затраты на электроэнергию, так как в соответствии со СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 освещенность в рекреации должна составлять 150 лк. Проанализировав полученные данные, можно сделать следующие выводы и предложить рекомендации:

1. В аудиториях, где  $K_p$  превышает установленные нормы, требуется замена светильников на другой тип.
2. В аудиториях, где освещенность составляет 900-1200 лк, в целях энергосбережения можно установить лампы меньшей мощности или уменьшить количество светильников.
3. Освещенность рекреации также необходимо уменьшить в целях энергосбережения (например, оставить один ряд светильников, а лишние светильники можно установить в неотремонтированные аудитории).

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ШУМА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЧЕЛОВЕКА**

*Адамык Я.А., Жомайко О.С., Ушаридзе А.М., Комаров М.Д.  
УрФУ, zhomayko@mail.ru*

Человек живет среди различных звуков и шумов. Часть из них является полезными сигналами, дающими возможность общаться, правильно ориентироваться в окружающей среде, принимать участие в трудовом процессе и т. п. Другие мешают, раздражают и даже могут вредить здоровью. Реакция человека на шум различна. Некоторые люди терпимы к шуму, у других он вызывает раздражение, стремление уйти от источника шума. Психологическая оценка шума в основном базируется на понятии восприятия, причем большое значение имеет внутренний настрой, который и определяет, будет ли шум восприниматься как мешающий. Реакция человека на шум зависит от того, какие процессы преобладают в центральной нервной системе - возбуждение или торможение. Многие звуковые сигналы, поступающие в кору большого мозга, вызывают беспокойство, страх, преждевременное утомление, что может неблагоприятно отразиться на состоянии здоровья. Диапазон влияния шума на человека широкий: от субъективного ощущения до объективных патологических изменений в органе слуха, центральной нервной, сердечно-сосудистой, эндокринной, пищеварительной системах и др. Следовательно, шум действует на жизненно важные ор-

ганы и системы [1]. Влияние шума усиливается, если человек испытывает его суммарное воздействие на работе и в быту.

Задачей настоящего исследования явилось изучение влияния шума на энергетический потенциал человека методом ГРВ.

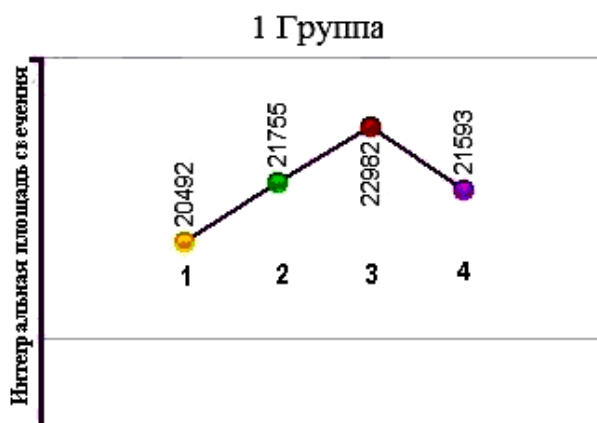
Метод ГРВ (газоразрядной визуализации) - один из перспективных электрографических методов исследования состояния энергетического потенциала человека. Это компьютерная регистрация и анализ свечений, индуцированных объектами, в том числе и биологическими, при стимуляции их электромагнитным полем с усилением в газовом разряде [2]. Метод основан на известном эффекте Кирлиан ("высокочастотное фотографирование"). При этом основное отличие метода ГРВ от Кирлиановской фотографии состоит в компьютерной обработке, основанной на современных математических методах и концепциях.

В настоящее время на основе развитых теоретико-методических принципов создана серия аппаратов, работающих на принципе эффекта Кирлиан и позволяющих исследовать временные и пространственные характеристики газоразрядного свечения объектов в реальном масштабе времени. Один из них - прибор "ГРВ Камера", на котором проводились наши исследования, имеет следующие параметры: амплитуда биполярных импульсов от 3 до 20 кВ с непрерывно/ступенчатой регулировкой; длительность импульсов 10 мс; частота следования импульсов до 1000 Гц. [3]. Метод ГРВ успешно апробирован многолетней практикой применения программно-аппаратного комплекса "ГРВ Камера" в различных учреждениях.

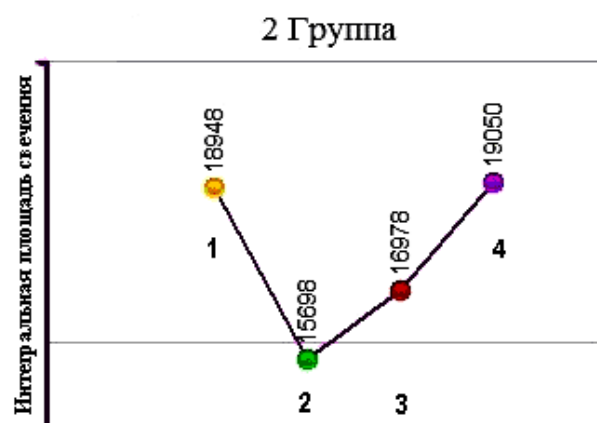
Методика экспериментов заключалась в следующем. Проводили съемку свечения пальцев рук испытуемых до воздействия рассматриваемого физического фактора (исходное состояние). Затем каждый испытуемый находился у источника шума с эквивалентным уровнем звука 80 дБА в течение 5-ти минут, после чего снова производилась съемка с помощью ГРВ-камеры. Чтобы установить зависимость изменения энергетических показателей после воздействия шума, был проведен мониторинг функционального состояния испытуемых через определенные промежутки времени. Было проведено три эксперимента в течение трех недель, количество испытуемых – 7 человек.

При анализе результатов проведенных экспериментов обнаружены две диаметрально различные реакции испытуемых на шум, поэтому испытуемых можно условно разделить на две группы. В первой группе шум вызвал усиление энергетического потенциала после 5-ти минут воздействия, что на ГРВ-снимках выявилось в увеличении площади свечения в среднем на 14 %. Повышение энергетического потенциала продолжалось в течение 15 минут после воздействия шума, затем потенциал стал снижаться до уровня, соответствующего практически исходной съемке (рисунок).

Во второй группе испытуемых, наоборот, шум вызвал резкое снижение энергетического потенциала, площадь свечения уменьшилась в среднем на 15 %. И только через 10 минут началось постепенное восстановление энергетического потенциала до исходного уровня (см. рисунок).



- Съемка 1 - исходное состояние
- Съемка 2 - через 5 минут после воздействия шума
- Съемка 3 - через 15 минут
- Съемка 4 - через 30 минут



- Съемка 1 - исходное состояние
- Съемка 2 - через 5 минут после воздействия шума
- Съемка 3 - через 10 минут
- Съемка 4 - через 30 минут

Изменение площади свечения при воздействии шума мощностью 80 дБА

Анализ диаграмм распределения энергии по системам и органам показал, что воздействие шума приводит к значительному снижению функций со стороны сердечно-сосудистой, нервной, иммунной систем и органов слуха.

Таким образом, по результатам проведенной работы можно сделать вывод о различном воздействии шума на функциональное состояние человека. Группы 1 и 2 различаются своим исходным энергетическим потенциалом. У испытуемых в группе 1 он более высокий, что на ГРВ-снимках отражается в большей площади свечения и его яркости. Можно предположить, что различная реакция испытуемых на воздействие шума связана с уровнем энергетического потенциала. Более мощный потенциал вызывает, по всей видимости, активизацию защитных функций организма, создает «энергетический барьер» от раздражающего фактора.

#### *Библиографический список*

1. Шум и его влияние на здоровье. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.megabook.ru/Article.asp?AID=5993862>
2. Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001. 360 с.
3. Коротков К.Г. Принципы анализа в ГРВ биоэлектрографии. СПб.: Реноме, 2007. 286 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАТИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЕЙ

*Айвазов М.Д., Морданов С.В., Никулин В.А.  
УрФУ, [s.v.mordanov@gmail.com](mailto:s.v.mordanov@gmail.com)*

Большое количество технологических процессов химических и смежных производств связано с усреднением в рабочем объеме аппаратуры параметров переноса, таких как температура, концентрация и т.п. Традиционно данные задачи реализуются с помощью аппаратов с механическим перемешиванием. Как показывает практика, технические решения проблем механического перемешивания часто далеки от оптимальных.

Процессы, протекающие в химических реакторах и смесителях, часто многостадийны. Причем, стадии таких процессов могут требовать различных режимов по температуре, давлению, интенсивности перемешивания и т.д. На практике, при протекании многостадийных процессов в одном аппарате часто бывает сложно установить факт окончания очередной стадии, особенно в аппаратах большого объема. Это приводит к увеличению временных и энергетических затрат, снижению качества продукции и другим негативным последствиям.

Многие технологические операции, традиционно выполняющиеся в объеме реактора или смесителя, логично вынести из объема аппарата. Такие операции, как предварительное смешение, разбавление до требуемых концентраций и т.д. можно осуществлять в схемах проточного смешения с использованием статических смесителей.

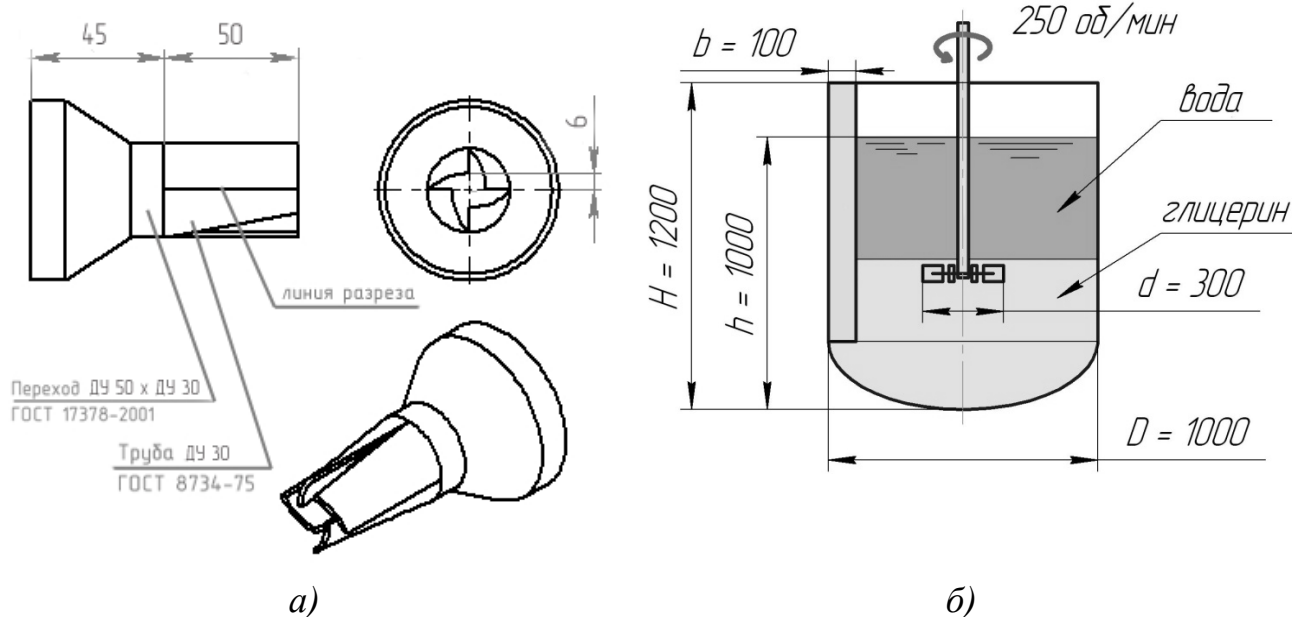
Химико-технологический процесс условно можно разделить на стадии, где лимитирующими являются массообменные процессы и химические реакции, и стадии, где лимитирующим является характер циркуляции потоков внутри реакционного объема, т.е. перемешивание. Применение проточных смесителей целесообразно в тех случаях, когда лимитирующей стадией процесса является собственно перемешивание. Аппараты с механическим перемешиванием, напротив, логично использовать тогда, когда лимитирующим фактором процесса является массообменная стадия или химическая реакция.

Под технологической эффективностью перемешивания понимают совокупность трех факторов [1]:

- 1) достижение желаемого распределения параметров переноса в рабочем объеме аппарата;
- 2) время достижения такого распределения (время перемешивания);
- 3) полные или удельные затраты энергии, необходимые для достижения такого распределения.

Рассмотрим смешение воды и глицерина в статическом смесителе собственной конструкции авторов [2] (рисунок, а) и в аппарате с турбинной мешалкой (рисунок, б). Проведем расчет и анализ обоих случаев с помощью методов вычислительной гидродинамики [3, 4]. Воспользуемся для этого моделью многофазного течения [3, 5] и k-ε моделью турбулентных пульсаций Лаундера и

Сполдинга [6, 19]. Примем контрольный объем перемешиваемой смеси равным  $0,757 \text{ м}^3$  (рабочий объем реактора с высотой 1200 мм и диаметром 1000 мм).



Конструкция проточного и емкостного смесителей

Результаты выполненных расчетов представлены в таблице. При равных контрольном времени перемешивания и производительности удельные энергетические затраты в проточном смесителе в пять раз ниже, чем в аппарате с мешалкой. При этом габариты проточного смесителя существенно меньше и позволяют встраивать его в существующие линии подачи технологических сред. Энергия, необходимая на перемешивание, сообщается в случае статического смесителя существующими питающими насосами.

Энергосберегающий эффект достигается за счет грамотной организации турбулентных микро-, мезо- и макро- вихрей в объеме перемешивания.

Сравнительная характеристика аппарата с мешалкой и статического смесителя

Контрольная величина	Аппарат с мешалкой	Статический смеситель
Время перемешивания контрольного объема, с	300	200-300*
Конечная неусредненность плотности, %	2 %	2 %
Удельные энергетические затраты, Вт/м <sup>3</sup>	2000	100-400*
Производительность аппарата по конечной смеси, м <sup>3</sup> /ч	9	9-14*
Габаритные размеры (без учета опор и обвязки), мм	1000Ч1000Ч1200	400Ч150Ч50

\* в зависимости от производительности насосов



#### *Библиографический список*

1. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками; пер. с польск. яз. И.А. Щупляка. Л.: Химия, 1975.
2. Патент 118878 РФ, 10.08.2012.
3. Marshall E.M. Computational Fluid Mixing / E.M. Marshall, A. Bakker. Lebanon, New Hampshire: John Wiley and Sons, 2003.
4. Pozrikidis C. Fluid Dynamics: Theory, Computation, and Numerical Simulation / C. Pozrikidis. New York, NY: Springer, 2009.
5. Хомяков А.П. Моделирование работы автоклавов выщелачивания глиноземных производств / А.П. Хомяков, С.В. Морданов, В.А. Никулин, С.Н. Сыромятников // Тр. Сверд. науч.-исслед. ин-та хим. машиностроения. Сер.: Оборудование для оснащения технологических производств. Екатеринбург: Свердловский химмаш, 2010. Вып. 17 (81). С. 74-88.
6. Launder B.C. Lectures in Mathematical Models of Turbulence / B.C. Launder, D.B. Spalding. London: Academic Press, 1972.
7. Хомяков А.П. Применение RNG К-Е модели турбулентности к задачам перемешивания жидкостей в аппаратах с мешалками / А.П. Хомяков, С.Н. Сыромятников, С.С. Пещура, С.В. Морданов // Тр. Сверд. науч.-исслед. ин-та хим. машиностроения. Сер.: Оборудование для оснащения технологических производств. Екатеринбург: Свердловский химмаш, 2009. Вып. 16 (80). С. 211-216.

### **ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЧЕЛОВЕКА. ВЛИЯНИЕ ЗАПАХОВ.**

*Акашкина А., Ануфриева Е.И.  
УрФУ, elenanufrieva@rambler.ru*

Человек наделен от природы уникальными свойствами, особенностями и возможностями своего организма. Окружающий нас мир мы познаем чувствами и ощущениями. И в этом нам помогают так называемые анализаторы: зрение, слух, обоняние, вкус. Нам всем нравятся определенные запахи, мы очень различно реагируем на них. Сейчас в медицине используют лечение ароматами эфирных масел – ароматерапию. Эфирные масла – это душистые, легко летучие вещества, содержащиеся в различных частях растений, главным образом в цветах, листьях, плодах, корнях. История использования эфирных масел в лечебных и косметических целях уходит в глубокую древность. Археологи обнаружили флаконы с благовониями в древнеегипетских гробницах.

С развитием технического прогресса в 19 веке началось создание синтетических лекарственных препаратов нового поколения, и популярность лечения травами пошла на убыль. В косметике и парфюмерии стали применять более дешевые искусственные аналоги. В начале 20 века французский химик Рене Гаттефоссе убедительно доказал целебные свойства натуральных эфирных масел и ввел термин "ароматерапия". С того времени и началось возрождение лечения ароматическими маслами. Ароматерапия является одним из популярнейших и быстроразвивающихся направлений нетрадиционной медицины, она безвредна и проста в применении. Эфирные масла оказывают на организм человека различные действия: успокаивающее, восстанавливающее, стимулирующее, антибактериальное и др. Ароматерапия нормализует психическое состояние человека, улучшает циркуляцию крови и лимфатической жидкости,

уравновешивает процессы, протекающие в организме, и тем самым повышает его сопротивляемость вредным внешним воздействиям [1].

Цель настоящей работы – изучение влияния различных запахов на энергетические ресурсы человека методом газоразрядной визуализации (ГРВ).

Сущностью метода ГРВ является изучение характеристик газового разряда, индуцируемого электронно-оптической эмиссией объекта, помещенного в электромагнитное поле высокой напряженности. Методика исследования объектов методом ГРВ заключается в получении, обработке и анализе газоразрядных изображений [2]. Структура ГРВ-свечения пальцев рук человека отражает широкий спектр его энергетических, психологических, физических и эмоциональных особенностей. Эксперименты проводились на приборе «ГРВ Камера». С помощью специальных программ оценивали степень влияния на организм различных запахов: неприятного для испытуемого запаха (горький перец), приятного (косметического крема) и эфирных масел розы и эвкалипта. Методика эксперимента была следующая: 1. Снималось исходное состояние испытуемого; 2. Затем испытуемый вдыхал по очереди определенный запах (перца, крема, эфирных масел), делая вдохи по три раза каждой ноздрей; это состояние воздействия также фиксировалось прибором; 3. После чего снова снимали излучения пальцев обеих рук, то есть состояние последствия. Результаты экспериментов приведены в таблице.

Площадь свечения, пиксель	Исходная	Неприят. запах (перец)	Приятн. (космет. крем)	Масло розы	Масло эвкал.
1 испытуемый	22644	22150	21040	22900	23500
2 испытуемый	15930	14320	14900	17620	20510
3 испытуемый	17840	17006	16890	17350	19100
4 испытуемый	25600	20320	22030	24180	25100

Реакция на исследуемые запахи практически у всех испытуемых одинаковая. Логично, что неприятный запах, в данном случае – горький перец, негативно подействовал на энергетические ресурсы испытуемых, уменьшив площадь и интенсивность свечения. Неожиданным оказался результат воздействия запаха косметического крема, приятного для испытуемых, который также снизил энергетический потенциал, уменьшив площадь свечения по сравнению с исходным состоянием. Воздействие же эфирных масел розы и эвкалипта оказало существенное благотворное влияние на энергетические ресурсы испытуемых, увеличив площадь свечения в среднем от 10 до 40 %.

Возможно, негативный эффект косметического крема связан с химическими ингредиентами, входящими в его состав. Тогда как натуральный, природный запах эфирных масел розы и эвкалипта сразу же начал восстанавливать энергетический потенциал.

Следует отметить, что полученные результаты еще предварительные, так как мало количество испытуемых, но они позволили получить важные результаты по влиянию запахов на энергетические ресурсы человека.

Таким образом, не стоит недооценивать влияние запахов на организм человека. С помощью чистых эфирных масел мы можем влиять на свои энергетические ресурсы, усиливая и восстанавливая энергетический потенциал, что поможет нам быть более работоспособными и успешно решать производственные задачи.

*Библиографический список*

1. Царство ароматов. [Электронный ресурс]: URL: [http://www.zarstvo.ru/index.php?show\\_aux\\_page=62](http://www.zarstvo.ru/index.php?show_aux_page=62)
2. Коротков К.Г. Принципы анализа в ГРВ биоэлектрографии. СПб.: Реноме, 2007. 286 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ**

*Аловадинова Х.Н., Демин Ю.К., Матвеев С.В.  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
hulkar\_welcome@mail.ru*

В черной металлургии существует целый ряд тепловыделяющих процессов. Одним из крупнейших является процесс непрерывной разливки стали. По сообщению *World Steel Association* (Всемирная Ассоциация стали), мировая выплавка стали в 2012 г. составила около 1,5 млрд т [1], и в настоящее время 93 % всей этой стали разливается в машины непрерывного литья заготовок, одним из основных рабочих элементов которых является водоохлаждаемый кристаллизатор.

Охлаждающая вода в кристаллизаторе работает в очень низком интервале температур: 5...100 °С, что требует значительных объемов, а, следовательно, и затрат на циркуляцию теплоносителя. Тепловое выделение от стали в температурном интервале 1600...800 °С в кристаллизаторе МНЛЗ составляет около 30 МВт/м<sup>3</sup>. Вся эта высокопотенциальная теплота стали трансформируется в низкопотенциальную теплоту охлаждающей воды и на современном этапе почти полностью теряется. Замена воды на другой теплоноситель может позволить полезно использовать это тепло и сократить затраты на циркуляцию.

Для выбора подходящего теплоносителя, необходимо определиться с критериями подбора. Во-первых, для эффективного использования теплоты разливаемой стали, при условии сохранения высокого коэффициента теплоотдачи (не вскипание теплоносителя), необходимо, чтобы температура кипения теплоносителя была больше температуры плавления кристаллизатора (750 °С). Во-вторых, для сокращения объемов циркуляции максимально возможный тепловый перепад теплоносителя должен быть больше максимального теплоперепада воды. Для оценки последнего условия введем коэффициент  $j$ :

$$j = \frac{\Delta q_{\text{теплоносителя}}^{\text{max}}}{\Delta q_{\text{воды}}^{\text{max}}} = \frac{c_{\text{теплоносителя}} \cdot (780 \text{ °С} - t_{\text{плавления теплоносителя}})}{c_{\text{воды}} \cdot (100 \text{ °С} - 0 \text{ °С})} \quad (1)$$

На основе этих требований был выбран ряд теплоносителей [2] (табл. 1).

## Теплоносители

Тепло-носитель	$T_{пл.}$	$T_{кип.}$	Свойства при температуре 20 °С				
			$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт·м/К	$c_p$ , кДж/кг·К	$\nu \times 10^{-8}$ м <sup>2</sup> /с	$j$
Li	179	1317	513,4	42,83	4,462	105	6,4
Na	98	883	927,7	86,12	1,374	96,8	2,2
25 %Na+75%K	-11	780	847	23,62	0,951	55	1,8

Замена воды на предложенные теплоносители может позволить не только снизить объемы на циркуляцию, за счет большего теплоперепада, но и полезно использовать теплоту разливаемой стали.

Так, для 25 %Na+75 %K в атомной промышленности существуют парогенераторы [3], входящие в состав ядерных энергетических установок БН-350 и БН-600, используя которые можно получить с учётом КПД паротурбинного цикла 40 % порядка 90 кВт·ч электроэнергии. Учитывая масштабы разлижки стали, это может дать значительный энергосберегающий эффект, за счет выработки электрической энергии на собственные нужды МНЛЗ.

### *Библиографический список*

1. <http://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2012/2011-world-crude-steel-production.html>
2. Теплопередача: учебник для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. М.: Энергоатомиздат, 1981. 416 с.
3. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. М.: Энергоатомиздат, 1989. 608 с.

## О ТЕРМИНАХ И ОПРЕДЕЛЕНИЯХ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

*Антонова А.А., Лязгин А.А., Семенов В.А.*

*Российский государственный профессионально-педагогический университет  
vsem@eka-net.ru*

Сегодня в мире сложилась парадоксальная ситуация: с одной стороны, наука проникает в самые потаенные уголки микро- и макромира, а с другой стороны, речь людей, являющаяся показателем развитого интеллекта, не успевает подстроиться под научно-технический прогресс, и возникают ситуации, когда люди, либо не понимают значения каких-либо слов, либо понимают их неверно или неточно.

Авторы доклада поставили цель провести исследование терминов, используемых специалистами в области теплоснабжения на соответствие определениям этих терминов в законодательных актах Российской Федерации. Задачами исследования ставится сопоставление терминов и их определения в документах действующего законодательства в области теплоснабжения, нормативно-правовых актах, утративших юридическую силу, а также в учебной и методической литературе, рекомендованной к использованию в процессах обучения специалистов.

С 01.01.2011 г. вступил в силу Федеральный закон № 190-ФЗ «О теплоснабжении» [1]. На уровне закона нормативно-правовые отношения субъектов теплоснабжения стали регулироваться впервые, ранее они регулировались до-

кументами рангом ниже – постановлениями Правительства, правилами и приказами министерств и ведомств. К документам действующего законодательства, устанавливающим термины, относятся также [2-5].

В законе [1] даются определения 32 терминам, а в совокупности всего действующего законодательства определены более 70 понятий. Таким образом, на текущий момент законодательно определены практически все основные термины, используемые специалистами теплоэнергетики, такие как: теплоснабжение, тепловая сеть, потребитель тепловой энергии, источник теплоты, система теплоснабжения, тепловой пункт, теплопотребляющая установка и многое другое.

При анализе текущего законодательства нами обнаружено несколько несоответствий в терминах, определенных разными документами, и даже ошибки. Нужно отметить, что ряд терминов сформулирован в законодательстве небрежно и не раскрывает полного смысла самого понятия.

Современное законодательство вводит ряд терминов, которые не существовали ранее, например: схема теплоснабжения, точка учета тепловой энергии, радиус эффективного теплоснабжения.

Законодательством исключены из оборота некоторые термины. «энергоснабжающая организация», «абонент тепловой сети», «абонентский ввод» и др.

С принятием законов № 35-ФЗ «Об электроэнергетике»[7] и № 190-ФЗ «О теплоснабжении» произошло четкое разделение терминов, включающих формы словообразований «энерго-», «электро-» и «тепло-». Так, в электроэнергетике используются понятия с формами «электро-»: «договор купли-продажи электрической энергии», «электросетевая организация», «электрооборудование», «линии электропередачи» и др., а в теплоэнергетике отныне используются слова только с формами «тепло-»: «договор теплоснабжения», «теплопотребляющая установка», «теплоснабжающая организация» и пр. При этом форма словообразования «энерго-» сейчас может употребляться только в отношении организаций и видов деятельности, связанных с одновременным производством, распределением и контролем разных видов энергий, например «энергоснабжающая организация», «энергосервисный договор», «энергобаланс», «энергоаудит». Такому принципу удовлетворяют подавляющее большинство законодательно утвержденных терминов.

Что касается теплоэнергетики, то часто употребляемые тепловиками понятия «режим энергопотребления», «энергоноситель», «энергоустановка» сегодня, как говорится, «из другой оперы».

Вследствие невозможности в коротком докладе осветить изменения по всем терминам, подробно остановимся только на одном, наиболее ярко иллюстрирующем изменения как самих терминов, так и их содержания. Возьмем термин «теплопотребляющая установка». Ранее (с 1958 г. по 1993 г. действовали Правила эксплуатации теплоиспользующих установок и тепловых сетей в двух редакциях), и термин имел другое название «теплоиспользующая установка». В 1993 г. вступили в действие новые «Правила эксплуатации теплопотребляющих установок и тепловых сетей потребителей», которые устанавливали

новое название термина и новое его определение – «Теплопотребляющая установка».

Смена названия произошла, скорее всего, потому, что этим документом был переопределен смысл термина «потребитель тепловой энергии», старое название которого «абонент тепловой сети» был исключен из употребления. До 1993 г. потребителями тепловой энергии системы централизованного теплоснабжения назывались теплоиспользующие системы зданий.

На смену правилам 1992 г. [6] были в 2003 г. выпущены новые правила [3], в которых исследуемый термин получил новое название при прежнем определении – «теплопотребляющая энергоустановка». Мотивы изменения названия термина в 2003 г. авторам остались неизвестны.

В процессе подготовки и принятия закона № 190-ФЗ «О теплоснабжении» законодателями было решено упорядочить использование форм словообразований «тепло-» и «энерго-», поэтому термин «теплопотребляющая энергоустановка» обрела внутреннее смысловое противоречие, и закон, вступивший в силу в 2011 г. его устранил, вернув прежнее название – «теплопотребляющая установка», однако несколько изменив при этом смысл определения. Если ранее системы теплопотребления отопления, вентиляции, ГВС, кондиционирования и технологических нужд у потребителя составляли одну теплопотребляющую установку, то сейчас это отдельные теплопотребляющие установки.

Таким образом, мы установили, что:

1) в советский период термины в области теплоэнергетики законодательно утвержденных терминов было меньше, они редко изменяли свое значение как по наименованиям, так и по содержанию;

2) с 1992 г. в терминологии теплоэнергетики происходит, если так можно выразиться, непрерывная «чехарда» изменений – часть терминов упразднено и вышли из оборота, часть терминов изменили содержание своих определений, иногда кардинально, часть терминов сменили свое название;

3) в настоящее время (в 2012 г.) действуют нормативно-правовые акты законодательства, которые дают разные определения одних и тех же терминов, а в текстах этих документов (вероятно по ошибке) встречаются упоминания старых терминов, ранее отмененных;

4) в учебно-методической и технической литературе, рекомендованной к использованию для целей обучения специалистов, преобладают переиздания ранних учебников, но и во вновь изданных пособиях старая терминология доминирует.

*Выводы:*

1) Существующие учебно-методические пособия по теплоэнергетическим дисциплинам подлежат замене, по сути, произошла потеря части знаний, поскольку целый массив информации не может быть использован при подготовке новых специалистов.

2) Среди специалистов, технических и научных работников существует инерция к восприятию новой терминологии, подчас некоторые даже не знают о ее существенном изменении.

3) Требуется определенное время (достаточно продолжительное), чтобы новая терминология утвердилась как в сознании специалистов, так и в технической и учебной литературе, а также в процессах обучения.

#### *Библиографический список*

1. Федеральный закон от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении».
2. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя, утв. Министерством топлива и энергетики РФ 12.09.1995 г., рег. № 954.
3. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок, утв. Приказом Министерства энергетики РФ от 24.03.2003 г. № 115.
4. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении отдельных изменений в законодательные акты Российской Федерации».
5. Гражданский кодекс РФ, глава 30, § 6 «Энергоснабжение».
6. Правила эксплуатации теплопотребляющих установок и тепловых сетей потребления, утв. приказом ГУ Госэнергонадзора Минтопэнерго 07.05.1992 г.
7. Федеральный закон от 26.03.2003 г. № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».

## **УСТРОЙСТВА ФОТОНИКИ**

*Бездетнова А.Е., Шемякина А.В., Пурумян Н.М.  
УрФУ, sarapulovfn.yandex.ru*

Бурный прогресс в микроэлектронике и грандиозные проекты развития информационных технологий в последнее время все ближе сталкиваются с проблемой существования фундаментальных ограничений быстродействия полупроводниковых устройств. В связи с этим все большее число исследований посвящается разработке принципиальных основ альтернативных полупроводниковой электронике областей – микроэлектронике сверхпроводников, спинтронике и фотонике.

Фотоника – это наука о создании, манипулировании, транспортировке, выявлении и использовании световой энергии информации. Основной единицей является фотон [1].

Для реализации технологии полупроводниковой фотоники необходимы шесть основных компонентов [5]:

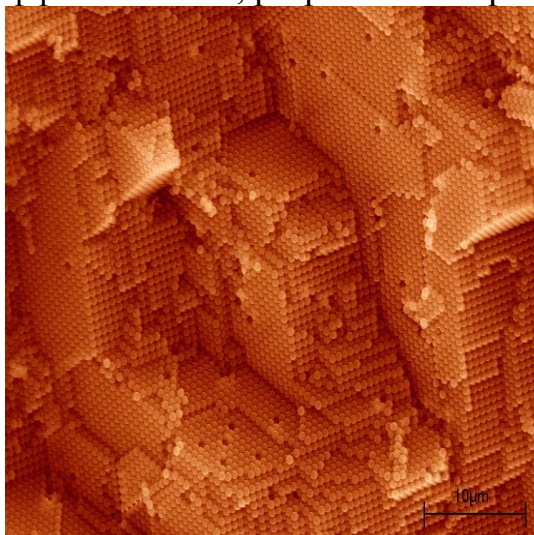
- лазер, испускающий фотоны;
- модулятор, для преобразования потока фотонов в поток информации для передачи между элементами вычислительной платформы;
- волноводы, играющие роль «линии передачи» для доставки фотонов к местам назначения, и мультиплексоры для объединения или разделения световых сигналов;
- корпус, особенно необходимый для создания сборочных технологий и недорогих решений, которые можно будет использовать при массовом производстве ПК;
- демодулятор для приема потоков фотонов, несущих волноводы, играющие роль «линий передачи» для доставки фотонов к местам назначения и мультиплексоры для объединения или разделения световых сигналов;

- электронные схемы для управления этими компонентами.

Вопрос реализации всех этих компонентов оптической связи на базе полупроводниковых технологий повсеместно признан важнейшей исследовательской проблемой, решение которой приведет к огромному техническому прорыву. Уже установлен ряд мировых рекордов, высокопроизводительные устройства, обеспечивающие скорость передачи данных до 40 Гбит/с [2].

Основой многих устройств фотоники могут служить фотонные кристаллы – пространственно – упорядоченные системы со строго периодической модуляцией диэлектрической проницаемости (строго периодическим изменением коэффициента преломления в масштабах, сопоставимых с длинами волн излучений в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах) (рис.) [3].

В отличие от имеющихся прочно устоявшихся и отработанных десятилетиями процессов производства транзисторов, технология создания элементов для полупроводниковой фотоники является полностью новой. На пути ее внедрения стоят определенные проблемы: оптимизация устройств, повышение надежности конструкции, отработка методологии испытаний, обеспечение энергоэффективности, разработка сверхминиатюрных устройств.



Внутренняя поверхность  
фотонного кристалла

Ключевое требование к фотонным кристаллам – это периодичность структуры на нано- (микро-) уровне, которая обуславливает уникальные дифракционные свойства этих материалов.

Фотоника – важнейшая составная часть долговременной стратегии, направленной на ускорение перехода к тера-вычислениям. По мере развития многоядерных процессоров, обладающих огромной вычислительной мощностью, возникают новые проблемы. Например, потребность в скорости обмена данными между памятью и процессором скоро превысит физические ограничения, накладываемые медными проводниками, а скорость передачи электрических сигналов станет меньше, чем быстродействие процессора. Уже сейчас производительность мощных вычислительных систем, зачастую, рассчитаны на гораздо меньшую пропускную способность по сравнению с фотоникой, а с увеличением расстояния, на которое передаются данные, скорость передачи становится еще меньше [4].



Использование оптических систем связи имеет определенные преимущества по сравнению с традиционными кабельными системами. Главным преимуществом оптических систем является их огромная пропускная способность. К примеру, используемые сегодня оптические волокна в системах связи могут одновременно передавать до 128 различных потоков данных, причем те или иные потоки соответствуют конкретным частотным каналам оптоволокна. Теоретический предел скорости передачи данных по оптоволокну оценивается в 100 трлн. бит/с. Для того чтобы осмыслить эту громадную цифру, приведем простое сравнение – такой пропускной способности вполне достаточно, чтобы обеспечить передачу телефонных переговоров одновременно всех жителей планеты.

Для передачи информации с использованием светового излучения необходимо иметь несколько обязательных компонентов: источники излучения (лазеры), модуляторы световых волн, посредством которых в световую волну закладывается информация, и оптоволокно для передачи данных, закодированных в световой волне. С помощью нескольких лазеров, излучающих различные длины волн, и нескольких модуляторов можно посредством одного оптоволокна передавать одновременно множество потоков данных. На приемной стороне для обработки информации используются оптический мультиплексор, выделяющий из пришедшего сигнала несущие с различной длиной волны, и оптические детекторы, позволяющие преобразовать оптические сигналы в электрические.

Изучение возможности использования кремния для оптических целей ведется на протяжении уже многих лет – со второй половины 80-х годов. Однако особого прогресса за это время достигнуто не было. По сравнению с другими материалами попытки использования кремния для построения оптических целей не приносили ожидаемых результатов [6].

Несмотря на все сложности использования кремния в качестве материала для оптических цепей, в последнее время наметились существенные сдвиги в этом направлении. Как выяснилось, легирование кремнием эрбием (Er) позволяет таким образом изменить структуру запрещенной зоны, что рекомбинация зарядов будет сопровождаться излучением фотонов, то есть кремний можно использовать для создания полупроводниковых лазеров [3].

В итоговом докладе Еврокомиссии (2008 г.) указаны пять главных направлений развития технологий – это фотоника, биотехнология, нанотехника, микро- и нанoeлектроника, создание новых материалов.

Годовой объем мирового рынка фотонных устройств на 2015 г. прогнозируется не менее 10 млрд долл.

Иновации и высокие технологии фотоники в энергосбережении могут быть использованы в технологии переработки солнечной энергии и в энергоэффективных источниках излучения – лазерных диодах и светодиодах.

*Библиографический список*

1. [wikipedia.org](http://wikipedia.org)
2. <http://www.photonics-expo.ru/en/>
3. <http://www.photonica-inc.com/>

4. <http://www.fnm.msu.ru/documents/8/photo.pdf>
5. Барсуков А. Журнал «ТКТ», № 4. М. 2004.
6. Пахомов С. Журнал «Компьютер Пресс». № 3. М. 2004.

## **КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КАК ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ**

*Бирюзова Е.А.*

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
biryuzova@rambler.ru*

Теплоизоляционные материалы в системах теплоснабжения применяются с целью уменьшения потерь тепла трубопроводами и оборудованием тепловых сетей, поддержания заданной температуры теплоносителя, а также недопущения высокой температуры на поверхности теплопроводов и оборудования.

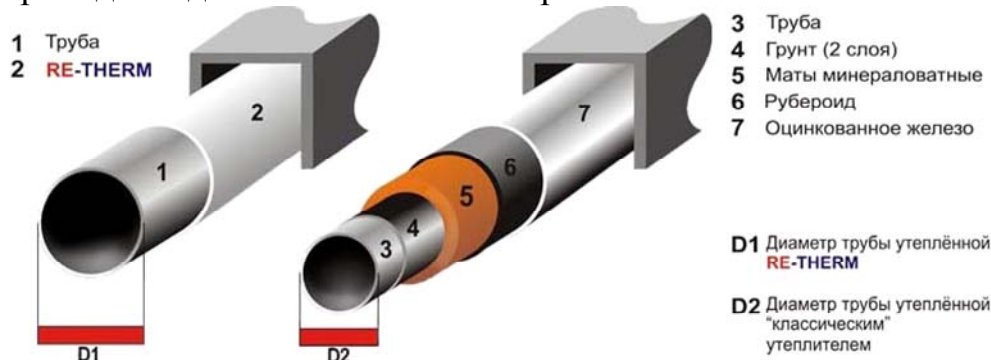
Материалы и конструкции тепловой изоляции непосредственно контактируют с окружающей средой, характеризующейся колебаниями температуры, влажности, а при подземной прокладке – агрессивными действиями грунтовых вод по отношению к поверхности труб и блуждающими токами, вызывающими образование свищей на трубопроводах. Поэтому к материалам тепловой изоляции предъявляются повышенные требования, соответствующие эффективной и безаварийной работе системы теплоснабжения.

Для тепловых сетей, как правило, принимаются теплоизоляционные материалы и конструкции, проверенные практикой эксплуатации. Новые материалы и конструкции допускаются к применению при положительных результатах независимых испытаний, проведенных специализированными лабораториями.

Материалы тепловой изоляции и покровного слоя теплопроводов должны отвечать требованиям СНиП [1], нормам пожарной безопасности и выбираться в зависимости от конкретных условий и способов прокладки.

В настоящее время в практику активно внедряются современные теплоизоляционные материалы, которые имеют малую толщину, обеспечивающие при этом высокую энергоэффективность. В последние годы ряд отечественных и зарубежных фирм предлагает краски и покрытия типа мастик, которые рекламируют как теплоизолирующие и энергосберегающие. Рассмотрим жидко-керамическую тепловую изоляцию на примере покрытия *Re-Therm* [2]: материал, внешне напоминающий краску, имеющий жидкую консистенцию, которую можно наносить на поверхности любых форм и составов красочными инструментами (кистью, валиком, пульверизатором высокого давления). Изоляция *Re-Therm* состоит из керамических (содержание керамических микросфер 75–85 %) и силиконовых микросфер, находящихся во взвешенном состоянии в жидкой фазе из воды, акрилового связующего и целевых добавок (рисунок).

Толщина одного слоя покрытия составляет 0,3–0,4 мм. Ее особенностью является возможность покрытия поверхностей сложных конфигураций, при этом наличие изоляции не создает неудобств при обслуживании и ремонте. При использовании обычных теплоизоляционных материалов в тепловых сетях остаются неизолированными или частично изолированными участки, наличие которых приводит к дополнительным потерям теплоты.



Сравнение тепловой изоляции *Re-Therm* с традиционной (минераловатной) изоляцией

Важнейшим показателем при определении потерь тепла для теплоизоляционного материала является коэффициент теплопроводности, согласно закону Фурье.

Исследование величины коэффициента теплопроводности жидко-керамического покрытия *Re-Therm* проводилось методом трубы при стационарном тепловом режиме на экспериментальной установке в лаборатории кафедры ТГС и ОВБ. Для определения температурной зависимости коэффициента теплопроводности материала *Re-Therm* были проведены измерения при различных значениях напряжения и силы тока в электронагревателе.

Измерения проводились при  $U=40; 60; 75$  В. Число слоев сверхтонкой жидкой теплоизоляции *Re-Therm* изменялось от одного ( $d_2=57,3$  мм) до двух ( $d_2=57,6$  мм). Температура на поверхности стальной трубы и теплоизолированной конструкции измерялась при помощи цифрового пирометра С-109 А и пирометра *ARKOM PR280*  $k=0,95=\text{const}$ .

Жидко-керамическое покрытие *Re-Therm* обладает низким коэффициентом теплопроводности, обеспечивающим высокую эффективность применения теплоизоляционной конструкции и отвечающим нормам энергосбережения.

Значения коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , при покрытии трубы теплоизоляцией в два слоя:

– при  $U=40$  В

Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром ARKOM					Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром С-109 А				
0,0012	0,0012	0,0013	0,0013	0,0011	0,0011	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
0,0010	0,0011	0,0012	0,0010	0,0011	0,0010	0,0010	0,0011	0,0011	0,0010
0,0010	0,0011	0,0012	0,0012	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010

– при  $U=60$  В

Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром ARKOM					Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром C-109 A				
0,0024	0,0028	0,0030	0,0029	0,0026	0,0022	0,0024	0,0027	0,0028	0,0022
0,0019	0,0021	0,0022	0,0022	0,0018	0,0018	0,0019	0,0021	0,0020	0,0019
0,0020	0,0023	0,0025	0,0024	0,0021	0,0017	0,0017	0,0018	0,0018	0,0017

– при  $U=75$  В

Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром ARKOM					Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром C-109 A				
0,0036	0,0042	0,0050	0,0045	0,0036	0,0030	0,0040	0,0045	0,0042	0,0038
0,0028	0,0034	0,0039	0,0035	0,0032	0,0031	0,0039	0,0041	0,0038	0,0034
0,0033	0,0040	0,0042	0,0039	0,0034	0,0032	0,0035	0,0038	0,0035	0,0030

Средние значения коэффициента теплопроводности при разной мощности ТЭНа, соответственно:

$$\lambda_1 = 0,0011 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}, \lambda_2 = 0,002 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}, \lambda_3 = 0,0037 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{С)}.$$

Проанализировав результаты экспериментальных исследований, была получена ориентировочная формула для определения коэффициента теплопроводности жидко-керамической тепловой изоляции:

$$\lambda = 0,00035 + 0,00003 t_{\text{т.п.}},$$

где  $t_{\text{т.п.}}$  – температура теплоизолированной поверхности трубопровода,  $^\circ\text{С}$ .

Полученные экспериментальным путем значения коэффициента теплопроводности отличаются от заявленных производителем значений, что говорит о недостаточности толщины наносимого слоя тепловой изоляции и необходимости повторения исследований. В то же время, значения коэффициента  $\lambda$  жидко-керамической тепловой изоляции выгодно отличаются от значений коэффициента теплопроводности остальных теплоизоляционных материалов (таблица).

Теплотехнические характеристики теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционный материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м $^\circ$ С)	Плотность, кг/м $^3$	Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{С}$	Период эксплуатации, лет
Пенополиуретан	0,019–0,035	45–60	–200 +150	30–50
Минвата	0,052–0,058	15–150	–40 +250	5–7
Пенобетон	0,145–0,160	250–400	–30 +120	10
Вспененный полиэтилен	0,038–0,042	20–40	–80 +100	до 30
Вспененный каучук	0,032–0,042	60–85	–70 +150	20–30
Пенополистирол	0,043–0,064	15–45	–80 +80	15
<i>Re-Therm</i>	0,0011	390	–60 +250	не менее 15

#### *Библиографический список*

1. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.
2. Покрытия *Re-Therm*. Казань: ООО «Инновационные технологии», 2012. [Электронный ресурс] URL: [www.re-therm.ru](http://www.re-therm.ru)
3. М-001–2003. Метод постановки опыта и расчета коэффициента теплопроводности для сверхтонких тепловых изоляционных материалов, методические рекомендации по тепло-техническим расчетам. М.: ФГУП НИИ «Сантехники», 2003. 25 с.

## **ОЦЕНКА СХЕМНОЙ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЁТОМ ПЕРИОДОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Близнюк Д.И., Котов О.М.  
УрФУ, d-i-b@inbox.ru, o.m.kotov@ustu.ru*

Для повышения объективности результатов оценки схемной надёжности электрических систем разрабатывается подсистема подготовки данных, учитывающая зависимость аварийности основного оборудования от продолжительности его эксплуатации. Функционирование данной подсистемы осуществляется в составе комплекса «Струна», созданного на кафедре АЭС УрФУ.

Расчётная схема для задачи оценки схемной надёжности соответствует главной схеме электрических соединений и содержит набор исходных параметров, в общем случае различный для соответствующих типов оборудования [1]. При этом для таких элементов расчётной схемы, как силовые трансформаторы, сборные шины, разъединители набор показателей составляют частота отказов и среднее время аварийного восстановления. Аварийность линий электропередач характеризуется раздельно частотой устойчивых и неустойчивых отказов, а модель надёжности силового выключателя характеризуется частотами отказов типа «короткое замыкание в обе стороны», «разрыв цепи» и относительной частотой неотключения коротких замыканий.

Центральным элементом подсистемы подготовки данных является база данных, состоящая из набора таблиц. В основной таблице перечисляются все категории элементов электрической сети, каждая из которых может иметь подкатегории. Например, категория «выключатели» (категория первого уровня) может иметь подкатегории «элегазовые», «масляные», «воздушные», «вакуумные» и т. д. (категории второго уровня). Вспомогательные таблицы содержат соответствующие показатели конкретной динамической модели. В итоге вся необходимая для расчётов надёжности статистика оказывается представленной в виде динамически обновляемой многоуровневой иерархической структуры.

Тестируемая версия подсистемы подготовки исходных данных ориентирована на представление хорошо известной «корытообразной» кривой частоты отказа технического изделия, которая может быть реализована как в линеаризованном, так и в полиномиальном варианте. В первом случае запись во вспомогательной таблице состоит из следующих полей:

- Значение показателя в период стабильной эксплуатации;
- Коэффициент наклона отрезка, соответствующего периоду приработки;

- Коэффициент наклона отрезка, соответствующего периоду старения;
- Год окончания периода приработки;
- Год начала периода старения.

Для исследования влияния динамически изменяющихся исходных показателей основного электротехнического оборудования на результирующую надёжность потребителей были выполнены расчёты фрагмента системы электропитания (рис. 1). Динамически изменяемые параметры были учтены у силовых трансформаторов и выключателей, которые внутри категорий синхронизированы по периодам эксплуатации: первый год (приработка), двадцать пятый год (стабильная работа) и сороковой год (старение).

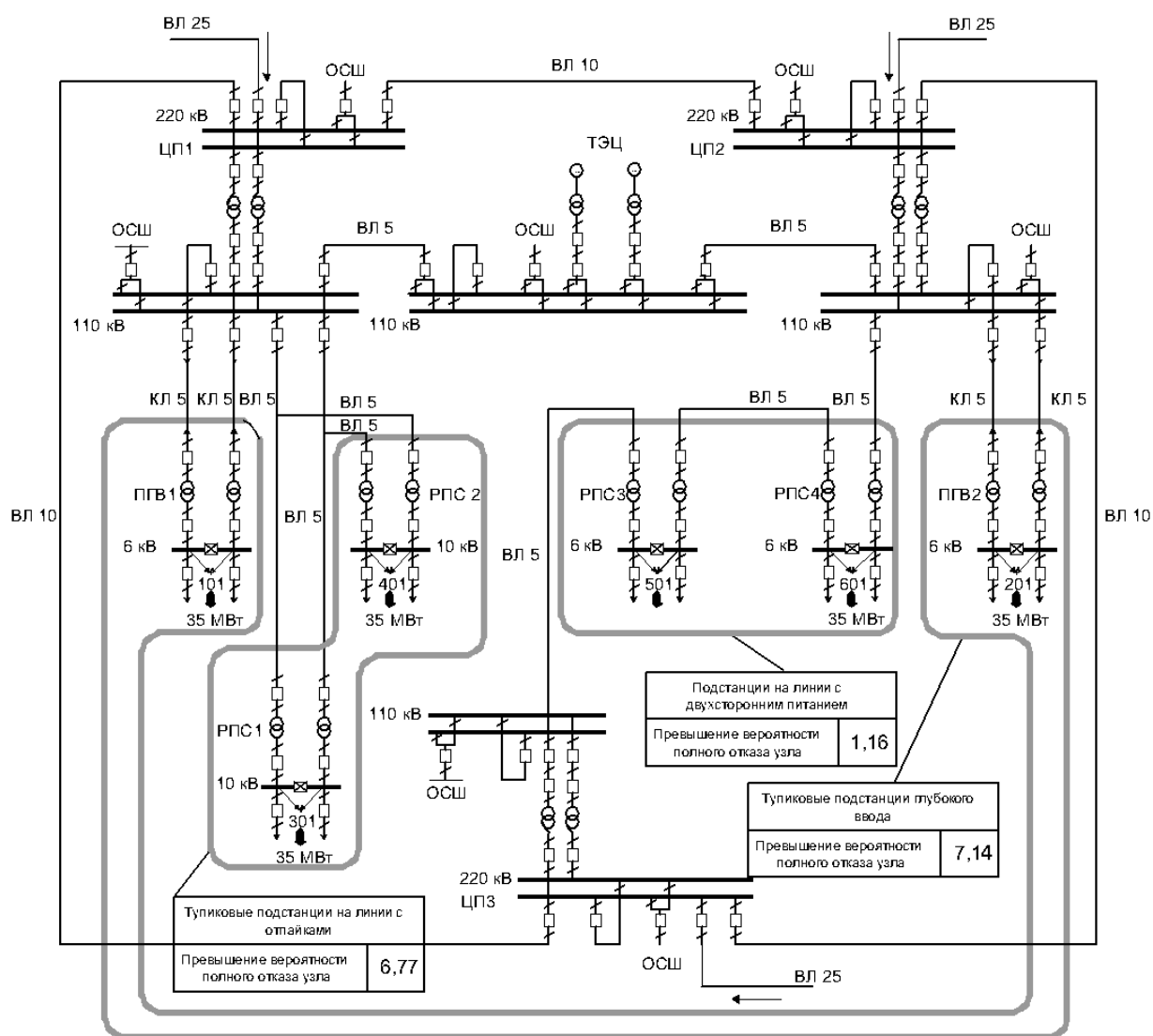


Рис. 1. Тестовая схема и основные результаты расчёта

При формировании динамических моделей исходных показателей надёжности [2, 3] были построены графические зависимости (рис. 2) и определены коэффициенты, характеризующие превышение значений показателей надёжности по сравнению с периодом стабильной эксплуатации. Для получения

величины искомого параметра надёжности в соответствующий период времени табличные значения [1] были взвешены соответствующими коэффициентами.

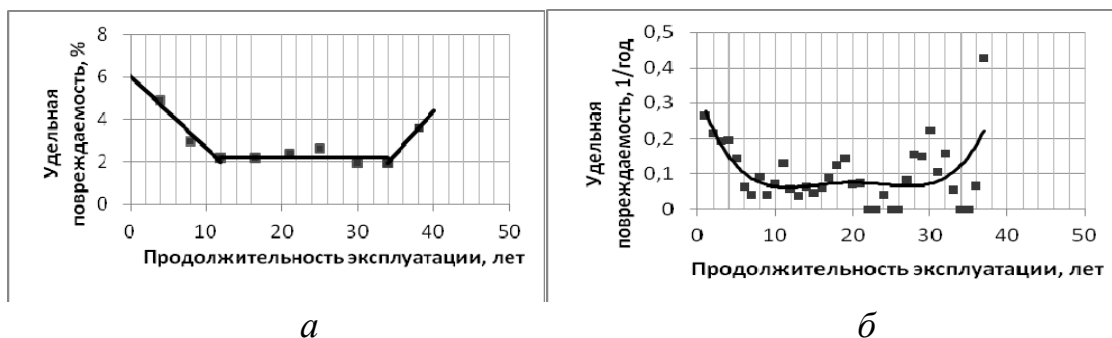


Рис. 2. Зависимости величины удельной повреждаемости силового трансформатора (а), воздушного выключателя (б)

На первом этапе были выполнены расчёты суммарного годового недоотпуска электроэнергии с шин всех потребительских подстанций рассматриваемой сети для всех сочетаний рассматриваемых периодов эксплуатации силовых трансформаторов и выключателей [4]. Максимальный недоотпуск имел место при наложении периода приработки силовых трансформаторов на период старения выключателей. На втором этапе было проанализировано влияние динамически изменяющихся показателей аварийности на различные типы потребительских подстанций при указанном сочетании периодов эксплуатации трансформаторов и выключателей (см. рис. 1).

*Выводы.* Степень влияния динамически изменяющихся исходных показателей надёжности основного оборудования на надёжность конечного потребителя системы электроснабжения зависит от типа подстанции. Учёт периодов эксплуатации оборудования в задаче оценки надёжности вариантов развития или модернизации реальных электрических систем позволить существенно расширить множество анализируемых вариантов и улучшить обоснованность принимаемых проектных решений.

#### *Библиографический список*

1. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. М.: ЭНАС, 2009. 392 с.
2. Львов М.Ю. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше // Электричество. 2010. № 2. С. 27-31.
3. Абдурахманов А.М., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. Влияние продолжительности эксплуатации на отказы выключателей в высоковольтных электрических сетях // Электрические станции. 2007. № 7. С. 59–63.
4. Близнюк Д.И., Котов О.М. Учёт периодов приработки и старения элементов электрических систем в задаче оценки схемной надёжности // Электроэнергетика глазами молодёжи: научные труды III международной научно-технической конференции: сборник статей. В 2 т. Екатеринбург: УрФУ, 2012. Т. 1. С. 449-453.

## **РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА СЖИГАНИЯ РЯДОВЫХ УГЛЕЙ В КОТЛАХ С РУЧНЫМ ЗАБРОСОМ ТОПЛИВА**

*Будин О.С., Филипповский Н.Ф.  
УрФУ, bos1988@mail.ru*

В нашей области и во всей России, в не газифицированных районах, достаточно много мелких котельных, работающих на твердом топливе, сжигаемом на неподвижных колосниковых решетках с ручным забросом топлива.

При слоевом сжигании важен фракционный состав угля, идеальный размер кусков от 6 до 25 мм. В большинстве котельных сжигают рядовой, не сортированный уголь, что приводит к снижению КПД котлов. Мелочь проваливается через отверстия в колосниках, уносится дымовыми газами, слой с мелочью неравномерно продувается воздухом – возникает кратерное горение.

Для исключения кратерного горения и провала мелкого топлива под решетку была предложена и запатентована конструкция беспровальной водоохлаждаемой решетки (патенты № 23950, 2212585). Однако при сжигании топлива на такой решетке быстрое и одновременное воспламенение угля по всей площади колосниковой решетки и усиливается неравномерность процесса горения по времени.

В начальный период после заброски свежего топлива происходит бурное выделение горючих летучих веществ, для их сжигания требуется больше воздуха, чем подается вентилятором через колосниковую решетку. В результате топка работает с недостатком воздуха. В дымовых газах появляются продукты неполного сгорания: угарный газ (СО), сажа и т.д. За счет этого теряется часть теплоты сгорания топлива, загрязняется окружающая среда, и засоряются поверхности нагрева самого котла. В конце периода между забросами топлива подаваемого воздуха слишком много, что также снижает КПД.

Для улучшения выгорания был предложен и испытан и неравномерный способ заброса топлива. Свежее топливо разбрасывается не по всей площади решетки, а отдельными кучами. При этом на одной части колосниковой решетки топливо горит на начальном этапе – с недостатком воздуха, а на другой – догорает с избытком воздуха. В топочном пространстве продукты неполного горения смешиваются с избыточным кислородом и догорают. Сертификационные испытания промышленного котла мощностью 0,8 МВт с таким режимом заброса угля дали очень хорошие результаты: концентрация СО в уходящих из котла газах не превышала нормы, и КПД котла составил 82 %, что позволило при таком режиме сжигания топлива согласно ГОСТ 30735-2001 сертифицировать котел по 1 классу.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ РАСКАЛЕННОГО КОКСА С ЦЕЛЮ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Валиева Э.Р., Гордеева И.С.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

E-mail: [elechka346@mail.ru](mailto:elechka346@mail.ru)

Теплота раскаленного кокса представляет собой ценный высокопотенциальный вторичный энергетический ресурс значительного объема. Так, для предприятия черной металлургии с годовым производством 10 млн т стали производство кокса достигает 5 млн т, при этом весь этот объем материала выдается из печей с температурой свыше 1000 °С.

При мокром тушении кокса вся эта теплота теряется, к тому же загрязняя атмосферный воздух канцерогенными соединениями. При сухом тушении кокса эта теплота используется для производства водяного пара, что энергетически не вполне обоснованно.

В данной работе продолжены исследования [1–3] *энергетической эффективности* процесса сухого тушения кокса на основе применения новых материалов для достижения энергосберегающего эффекта.

В работах [1–3] предлагаются разные способы эффективного использования ВЭР коксового производства (коксового газа и высокотемпературной теплоты горячего кокса). Коксовый газ возможно использовать на восстановление железорудных окатышей [1]. Для этого его необходимо нагреть до температуры 800 °С. В качестве греющего теплоносителя предлагается использовать горячий кокс. В работе [2] исследуется энергетическая эффективность использования тепла раскаленного кокса. Установлено, что получение пара наиболее эффективно в низкотемпературной области охлаждения кокса. Для высокотемпературной области предложено охлаждать кокс добавлением окатышей. Мамбетова А.Г., исследовала энтропийный анализ работы УСТК [3], который в свою очередь показал, что общее снижение разности температур азота и воды повышает эффективность работы УСТК и может дать энергосберегающий эффект.

Еще одним из способов утилизации ВЭР в УСТК является использование его тепла, выдаваемого из коксовых батарей для производства интенсифицирующих добавок для агломерата [4]. При этом процесс тушения кокса изменяется принципиально [5]. Тушение кокса предлагается производить в две стадии: на первой стадии тушение происходит до температуры ниже температуры воспламенения кокса (800-850 °С) твердым потребителем тепла (известняком или другим карбонатом), а на второй – обычным холодным воздухом или холодным газом, инертным к коксу при указанных температурах.

Разделение обожженной извести и охлажденного кокса принципиально возможен по разности фракционного состава кокса и извести.

При теплообмене раскаленного кокса и извести наиболее существенным параметром является конечная температура разложения известняка – около 900 °С. Эта температура зависит от количества известняка, добавляемого к раскаленному коксу, и от его начальной температуры.

Температурно-тепловой график обжига известняка характеризуется чрезвычайно широкой изотермической площадкой, которая осложняет завершение процесса обжига и определяет большую энергоемкость извести.

Очевидно, что количество добавляемого известняка не должно привести к охлаждению смеси ниже 900 °С, т. к. качественный продукт не будет получен.

Если ограничиться на первой стадии подачи холодного известняка, то количество полученной извести определится из теплового баланса при ограничении конечной температуры смеси 900 °С

Расчеты теплового баланса добавки холодного известняка показывают, что декарбонизация извести осуществляется в интервале температур 900 – 1200°С с расчетными массами, сведенными в таблицу.

T, °С	900	1000	1100	1200
Энтальпия кокса, кДж/кг	1677,39	1764,95	2059,5	2253,69
Масса обжигаемого известняка, кг	0	0,071	0,145	0,218
Масса обожженной извести, кг	0	0,03976	0,0812	0,122
Экономия, кг у.т./т	0	8,83	18,03	27,14
Экономия, м <sup>3</sup> ПГ/т	0	7,061	14,421	21,711
Экономия ПГ, млн. м <sup>3</sup> /год	0	1,404	5,855	13,270
Экономия на ПГ, млн. руб./год	0	2,807603	11,70995	26,54046

Таким образом, обжиг холодного известняка в смеси с раскаленным коксом может производить от 4 до 122 кг извести на каждую тонну потушенного кокса в зависимости от начальной температуры кокса.

При известных затратах на обжиг извести на автономных заводах экономия энергии может составить до 27 кг у.т. или до 21 м<sup>3</sup> природного газа (ПГ).

Годовая экономия природного газа может достигать до 13 млн м<sup>3</sup>.

Итого, экономия на платежах за природный газ при использовании 5 млн т раскаленного кокса в год и цене 2 руб./м<sup>3</sup> ПГ может составить 2,8–26 млн руб.

*Энергосберегающий эффект* данного мероприятия может быть значительно усилен применением предварительно подогретого известняка, возможности чего предоставляет сам процесс совместного охлаждения.

#### *Библиографический список*

1. Соколов А.Г., Картацев С.В. Использование теплоты горячего кокса для восстановления железа // Энергетики и металлургии настоящему и будущему России: Материалы 6-й Всерос. науч.-прак. конф. студ., асп. и спец. 20-22 мая 2005. Магнитогорск: МГТУ, 2005. С. 34-35.
2. Байзитова А.К., Картацев С.В. Исследование энергетической эффективности процесса сухого тушения кокса // Энергосбережение – теория и практика: Труды 4-й Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов: г. Москва, 20-24 октября 2008. М.: МЭИ, 2008. С. 137-139.
3. Энтропийный анализ работы УСТК / А.Г. Мамбетова, С.В. Картацев (рук.) // Энергетики и металлургии настоящему и будущему России: Материалы 12-й Всерос. науч.-прак. конф. студ., асп. и спец. 20-22 мая 2011. Магнитогорск: МГТУ, 2011. С. 70-72.
4. Вариант использования теплоты сухого тушения кокса / Э.Р. Валиева, С.В. Картацев (рук.) // Энергетики и металлургии настоящему и будущему России: Материалы 13-й Всерос. науч.-прак. конф. студ., асп. и спец. 20-22 мая 2012. Магнитогорск: МГТУ, 2012. С. 36-37.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СХЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ**

*Вдовенко И.А., Мракин А.Н., Николаев Ю.Е., Дубинин А.Б.  
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.,  
anton1987.87@mail.ru*

Системы централизованного теплоснабжения многих городов РФ, особенно малых, не обеспечивают современных требований к качеству предоставляемых услуг населению по отоплению, вентиляции, горячему водоснабжению. Низкая тепловая экономичность источников теплоты, сверхнормативные потери в сетях, нарушения гидравлического режима сетей, недостаточное применение систем автоматического регулирования теплоснабжением, изношенность оборудования и сетей приводят к высокой себестоимости производимой тепловой энергии, часто, превышающей установленные тарифы. Причиной такого состояния является высокий физический и моральный износ всех элементов систем, достигающий 60-80 %, замедление темпов их технического перевооружения, дефицит финансовых ресурсов. По данным Министерства энергетики потенциал энергосбережения в области коммунального теплоснабжения оценивается в пределах 20-25 %.

Для выхода из отмеченного состояния в соответствии с Законами “Об энергосбережении...” и “О теплоснабжении” необходимо проведение энергетических обследований систем теплоснабжения с разработкой перспективных схем теплоснабжения на период 5-15 лет, предусматривающих внедрение энергосберегающего оборудования и технологий с учетом изменения численности населения и объемов потребления теплоты, электроэнергии, газа и воды в городском хозяйстве [1, 2]. На основании полученной информации намечаются варианты технического перевооружения систем теплоснабжения, включающие модернизацию, замену или строительство новых источников и сетей, догрузку существующего оборудования, перераспределение нагрузки между источниками. Указывается также на «...обеспечение приоритетного использования комбинированной выработки электрической и тепловой энергии для организации теплоснабжения» [2]. При этом предполагается не только модернизация существующих паротурбинных ТЭЦ, но и сооружение новых малых ТЭЦ (МТ) на базе газотурбинных (ГТУ) и газопоршневых установок (ГПУ) для покрытия небольших тепловых нагрузок, обеспечивающих системную экономию топлива.

При разработке перспективных схем теплоснабжения необходим системный подход, учитывающий взаимосвязи между потоками различных энергоносителей, потребляемых городом, обеспечивающих экономию топливно-энергетических ресурсов и затрат. С этих позиций, в соответствии с рекомендациями [3], авторами разработаны перспективные схемы теплоснабжения двух городов, расположенных в Центральном федеральном округе, с населением 80 тыс. чел. (город 1) и 14 тыс. чел. (город 2). Теплоснабжение города 1 осуществ-

ляется от 21 котельной, сжигающих природный газ, присоединенной тепловой нагрузкой 135,5 Гкал/ч. Установленная мощность в 1,6-2 раза превышает присоединенную нагрузку. Теплоснабжение города 2 осуществляется от 7 котельных, сжигающих природный газ. Присоединенная тепловая нагрузка составляет 23,4 Гкал/ч, установленная мощность на 30-50 % превышает подключенную нагрузку. Износ источников в рассматриваемых городах составляет 60-65 %, сетей 65-70 %. КПД котельных находится в пределах 75-85 %.

Анализ существующего состояния систем теплоснабжения, изменение тепловой нагрузки и технико-экономическое сравнение альтернативных вариантов технического перевооружения позволил рекомендовать в городе 1 ввод в эксплуатацию газотурбинной ТЭЦ (ГТ-ТЭЦ) электрической мощностью 18 МВт с турбинами ГТ-009м и подключением к ней тепловой нагрузки новых жилых районов и выводимых из эксплуатации котельных, а также модернизацию котельных с заменой изношенного оборудования и строительство новых котельных; в городе 2 – сооружение газопоршневой ГПД-ТЭЦ электрической мощностью 4 МВт, модернизация существующих и строительство новых котельных. Установленное оборудование на ТЭЦ обеспечивает до 85-90 % потребности городов в электрической энергии. В городе 1 от ГТ-ТЭЦ отпускается около 50 % расходуемой городом теплоты, от ГПД-ТЭЦ – 30 %. Результаты расчета технико-экономических показателей модернизации схем теплоснабжения городов показаны в таблице.

Технико-экономические показатели схем теплоснабжения

№	Наименование показателя, единица измерения	Для города 1	Для города 2
1.	Присоединенная тепловая нагрузка, Гкал/ч	151,15	30,10
2.	Отпуск теплоты потребителям, тыс. Гкал/год	468,56	79,10
	– ТЭЦ	229,56	23,50
	– от котельных	239,00	55,60
3.	Выработка электроэнергии на ТЭЦ, млн. кВт·ч/год	130,0	19,5
4.	Суммарный годовой расход топлива, тыс. т у. т./год	103,40	15,80
	– ТЭЦ	66,30	7,09
	– котельными	37,10	8,70
5.	Удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии, г у. т./кВт·ч	320	258
6.	Удельный расход условного топлива на отпуск теплоты по системе с учетом ТЭЦ, кг у. т./Гкал	151,0	134,5
7.	Коэффициент полезного использования теплоты топлива, %	79	78
8.	Коэффициент эффективности транспорта теплоты (КПД тепловой сети) при замене трубопроводов и изоляции, %	95	95
9.	Экономия затрат на покупку электроэнергии и производство теплоты, млн руб./год	62,50	30,83
10.	Экономия затрат от модернизации котельных, млн руб./год	85,4	1,8
11.	Системная экономия топлива от комбинированной выработки электроэнергии и теплоты, тыс. т у. т./год	16,90	5,46
12.	Экономия топлива от модернизации котельных, т у. т./год	22,80	0,51
13.	Капиталовложения, млн руб.	1400,9	410,0
14.	Срок окупаемости, лет	8,0	9,9

Расчеты проводились при тарифах на природный газ 4 руб./м<sup>3</sup>, стоимости электроэнергии, отпускаемой городу, 1,5-2,4 руб./кВт·ч (в зависимости от напряжения), удельной стоимости модернизации котельных – 2000-3500 руб./Гкал/ч), строительства ТЭЦ – 46000-55000 руб./кВт. Присоединение ТЭЦ к электрическим сетям оценено в размере 20 % от стоимости станции.

Из рассмотрения таблицы следует, что экономия топлива от комбинированной выработки электроэнергии и теплоты вносит заметный вклад в суммарную экономию топлива от модернизации схемы теплоснабжения. Удельный расход топлива на отпуск теплоты при включении в схему теплоснабжения ТЭЦ снижается на 20-22 %, а удельная себестоимость на отпуск теплоты – на 40-50 %. Суммарная экономия затрат на приобретение энергоносителей в виде природного газа и электроэнергии составляет 30-60 млн руб./год.

#### *Выводы*

1. Выполнена разработка перспективных схем теплоснабжения городов с использованием малых ТЭЦ с газотурбинными и газопоршневыми установками и модернизацией котельных.

2. Сооружение малых ТЭЦ обеспечивает экономию топлива, снижение удельного расхода топлива, себестоимости производимой тепловой энергии и затрат на энергообеспечение города.

#### *Библиографический список*

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc; base= LAW; n=132518> (дата обращения: 20.07.2012).
2. Федеральный закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении» [Электронный ресурс]. URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req= doc; base=LAW; n=131624> (дата обращения: 16.12.2011).
3. РД-10-ВЭП. Методические основы разработки схем теплоснабжения поселений и промышленных узлов Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.vniiper.ru/pages/files/rd\\_10\\_ver.pdf](http://www.vniiper.ru/pages/files/rd_10_ver.pdf) (дата обращения: 29.09.2011).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕЗОКИСЛИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА ЛОМА**

*Ведяскин Е В., Садртдинова Е.З.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова*

*E-mail: evgeny.mgn.2008@mail.ru, dixi-lena@mail.ru*

По данным мировой ассоциации стали объём производства электростали во всём мире растёт, при этом на общем фоне производства стали составляет 30...35 % [1] из общего объема 1,5 млрд т в год. Электросталеплавильное производство является одним из крупнейших потребителей электроэнергии до 500...700 кВт·ч/т. В шихте электропечей доля лома достигает 95 %.

Расход электроэнергии снижают применением природного газа и кислорода. Однако при применении энергетического способа происходит значительное окисление стального лома, что приводит к снижению выхода готовой продукции и увеличению энергозатрат.

В этих условиях задача *энергосбережения* в электросталеплавильном производстве является чрезвычайно актуальной.

В работе ставится задача определить условия наиболее энергоэффективного плавления лома природным газом, а также оценка теплоты содержащейся в продуктах неполного горения при безокислительном нагреве в зависимости от температуры лома.

Исследования и данные заводской практики свидетельствуют, что заметное окисление железа начинается при температуре 800 °С [2]. Для предотвращения окалинообразования дальнейший нагрев необходимо производить со снижением коэффициента избытка воздуха **б**, однако это приводит к перерасходу топлива и образованию продуктов неполного сгорания. Кроме того, при повышении температуры происходит изменение количества окислительных веществ и увеличивается количество тепла, уносимого с уходящими газами. Регулированием кислорода можно осуществить безокислительный процесс с минимальным потреблением газа.

Задача решалась сопоставлением диаграммы состояния системы  $Fe_xO-Fe-CO_2-CO-C$  и  $Fe_xO-Fe-H_2O-H$ , равновесием окислительных компонентов неполного сгорания природного газа [3, 4, 5]. Равновесие продуктов сгорания при 800...1600 °С рассчитывалась в программе MathCad с использованием фундаментальных термодинамических данных. При исследовании данного процесса была выявлена экстремальная зависимость эффективности плавления лома от температуры нагрева и плавления лома газокислородным источником. Результаты приводятся в таблице.

При помощи табличных данных можно увидеть изменение эффективности по мере увеличения средней массовой температуры металла и величину теплоты, содержащейся в продуктах неполного сгорания для безокислительного нагрева, которую можно использовать для предварительного нагрева холодного лома, когда угар незначителен.

Зависимость эффективности использования природного газа при безокислительном нагреве  
и теплоты, содержащейся в продуктах неполного сгорания  $H_2$  и  $CO$  -  $Q$   
от температуры  $T$

$T, ^\circ C$	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Эффективность, %	26,3	27,2	27,8	<b>28,2</b>	27,7	27,2	26,2	24,6	23
$Q, \text{МДж/м}^3$	25,6	24,5	23,6	23,0	23,3	22,7	21,9	21,9	21,9

Из представленных данных можно найти температуру, при которой эффективность достигает своего максимального значения, при  $T = 1100$  °С эффективность равна 28,2 %, затем эффективность начинает падать, так как физическое тепло уходящих газов превышает тепло химической реакции окисления. Это позволяет получить *минимальный расход топлива* на нагрев и плавление металла и максимальный выход годного металла. Таким образом, возможно достижение большого энергосберегающего эффекта.

*Библиографический список:*

1. <http://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2012/2011-world-crude-steel-production.html>
2. Ревун М.П., Потапов Б.Б. [и др.] Высотемпературные технологические процессы и установки в металлургии. Запорожье: ЗГИА, 2002. 443 с.
3. Вегман Е.Ф. Краткий справочник доменщика. М.: Металлургия, 1981. 240 с.
4. Копытов В.Ф. Нагрев стали в печах. М.: Металлургиздат, 1955. 264 с.
5. Карп И.Н. Продукты сгорания природного газа при высоких температурах. Киев: Техника, 1967. 380 с.

## **ОБ ОЦЕНКЕ МЕТОДИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РАСЧЕТА ВЕНТИЛЬНОГО ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

*Гайфутдинов А.Р., Денисенко В.И.  
УрФУ, e-mail: alexzanderg@mail.ru*

На кафедре «Электрические машины» разработан вентильный индукторный двигатель для кабины лифта мощностью 4 кВт [1, 2]. Вентильный индукторный двигатель (ВИД) – это индукторная синхронная машина, в которой преобразование энергии осуществляется за счет изменения индуктивностей обмоток, расположенных на явно выраженных зубцах статора, при перемещении относительно них зубчатого магнитопровода ротора. В основе принципа действия ВИД лежит физическое явление, проявляющееся в том, что на ферромагнитное тело в магнитном поле действует механическая сила притяжения (электромагнитная), которая стремится переместить это тело в область с наибольшей интенсивностью поля [3]. В работах [1, 2] была выполнена оценка вентильного индукторного двигателя по сравнению с вентильными двигателями на постоянных магнитах, перечислены его преимущества, указано на недостатки.

Конструкция вентильно-индукторного двигателя имеет ряд достоинств: отсутствие выпуклой обмотки; простота и технологичность конструкции; низкая себестоимость; большой срок службы, высокая надёжность и ремонтпригодность и повышенный ресурс работы; низкий перегрев электродвигателя. Двигатель имеет только одну обмотку на статоре, состоящую из жестких катушек простейшей формы [1, 2]. Изготовление таких катушек выполняется за одну операцию путем намотки на жесткий каркас с контролируемой укладкой витков и минимальным изгибом проводников в области лобовых частей. Катушки одеваются на зубцы сердечника статора без какой-либо дополнительной деформации проводников. Такая конструкция дает возможность изготавливать обмотку статора вентильно-индукторных двигателей на основе проводов с керамической изоляцией и позволяют рекомендовать их для работы в технологических установках атомной промышленности в условиях жесткого излучения, в которых двигатели с обычной изоляцией обмотки статора, выполненной из органических материалов, работать не могут.

На кафедре «Электрические машины» впервые разработан опытный образец вентильно-индукторного двигателя, обмотка статора которого выполнена на основе алюминиевых проводов с керамической изоляцией. При проектирова-

нии такого электромеханического преобразователя была использована методика электромагнитного расчета, разработанная в [3]. В данной работе была выполнена оценка указанной методики по данным вентильного индукторного двигателя мощностью 3,5 кВт, разработанного и изготовленного на предприятии ООО «Сапфир», который имеет более чем 20-летний опыт разработки и изготовления таких машин с органической изоляцией.

Предприятием были предоставлены все необходимые параметры двигателя, его размеры и результаты расчета.

В электромагнитном расчете были взяты такие же размеры электромагнитного ядра и параметры катушек обмотки статора как у предприятия ООО «Сапфир» (табл. 1).

Таблица 1

Параметр	Значение
Число зубцов статора	12
Число зубцов ротора	9
Внешний диаметр статора, мм	149
Диаметр расточки статора, мм	90
Ширина зубца статора, мм	10
Высота зубца статора, мм	20,5
Высота ярма статора, мм	9
Воздушный зазор, мм	0,25
Внешний диаметр ротора	89,5
Средняя ширина зубца ротора, мм	11,5
Высота зубца ротора, мм	9
Высота ярма ротора, мм	18,25
Внутренний диаметр ротора, мм	35
Длина пакета статора и ротора, мм	135
Число витков в катушке	116
Диаметр провода (по меди) , мм	0,8

Оценка предлагаемой методики выполнялась путем сравнения результатов расчета по методике, использованной нами, и методике, которая принята в ООО «Сапфир»

Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметр	Методика МЭИ	Методика ООО «Сапфир»
Действующее значение тока катушки, А	5,396	5,2
Средний момент, Н·м	34,105	33,423
Расчетная мощность, Вт	3,572	3,5
Потери в меди, Вт	567,5	370
Потери в стали, Вт	192	200
КПД, %	82,46	83,7
Ток на входе инвертора, А	8,49	8



Анализ показывает, что предлагаемая методика МЭИ дает удовлетворительное совпадение результатов расчета с результатами фирмы «Сапфир», что свидетельствует о возможности ее использования для разработки вентильных индукторных двигателей с новой изоляцией.

*Библиографический список*

1. Гайфутдинов А.Р., Денисенко В.И. К выбору конструкции вентильного двигателя кабины лифта // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-16 декабря 2011 г. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 70-73.
2. Гайфутдинов А.Р., Денисенко В.И. Техничко-экономическая оценка применения вентильного индукторного двигателя кабины лифта // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-16 декабря 2011 г. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 73-75.
3. Фисенко В.Г., Попов А.Н. Проектирование вентильных индукторных двигателей: методическое пособие. М.: МЭИ, 2005. 56 с.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ ГАЗОБАЛОННОГО АВТОМОБИЛЯ ДАТЧИКОМ ИОНИЗАЦИИ**

*Галиев И.Р., Ивашин П.В.*

*Тольяттинский государственный университет, sbs777@yandex.ru*

В настоящее время, метод ионизационных зондов получает все большую популярность в исследованиях процесса сгорания в двигателях внутреннего сгорания. Установлено, что датчики ионизации могут предоставить исследователю адекватную картину физико-химических процессов, протекающих при горении газовых смесей [1, 2]. Несмотря на большое количество работ в данном направлении, пока еще нет надежных методик прогнозирования уровня токсичных компонентов газобаллонных автомобилей, основанных на мониторинге ионного тока. Поэтому разработка такого метода является актуальной.

Исследования проводились на экспериментальном стенде. Основу стенда составляла установка УИТ-85. В качестве топлива использовался сжатый природный газ (метан), в который добавлялся водород в количестве 5 и 10 % (по массе). Испытания проводились на скоростном режиме 900 об/мин. Мониторинг ионного тока осуществлялся ионизационным датчиком. Для определения величины токсичных компонентов в отработавших газах (ОГ) применялся микропроцессорный газоанализатор «Автотест-02». Методика проведения экспериментов заключалась в регистрации сигналов с датчика ионизации и записи осциллограмм с помощью аналого-цифрового преобразователя.

В результате проведенных исследований был предложен модифицированный параметр  $K$ , пропорциональный отношению нормальной скорости распространения пламени к турбулентной [3]. С учетом особенностей взаимосвязи скорости распространения пламени и его ионизации при сгорании метановоздушной смеси в газовом двигателе [4] параметр  $K$  определялся из условий, что

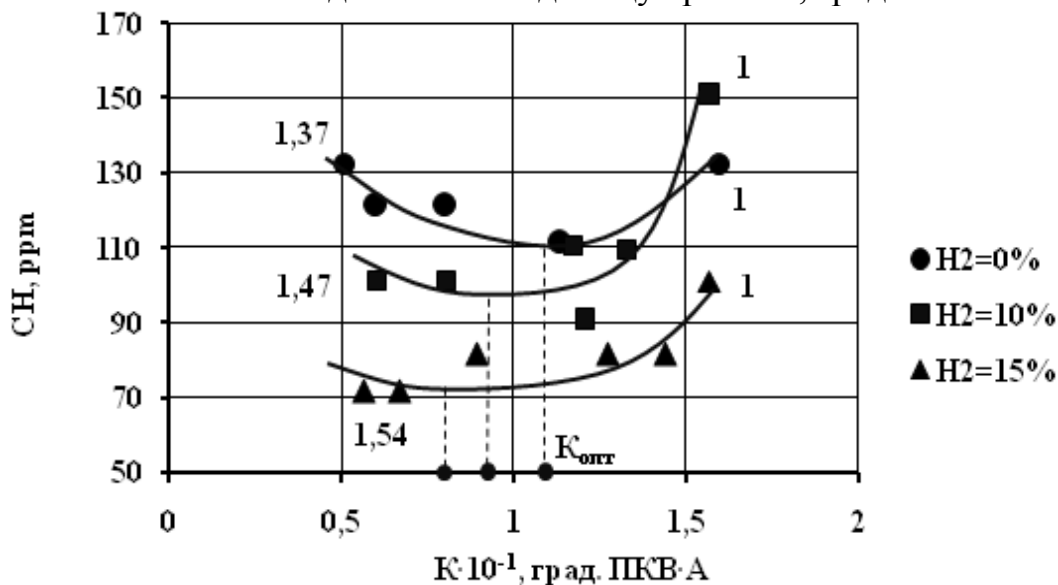
отношение амплитуды ионного тока в цепи ионизационного датчика к доле углерода в топливной смеси ( $I/gC$ ) прямо пропорционально скорости ламинарного горения, а продолжительность основной фазы сгорания ( $\varphi t$ ) обратно пропорциональна турбулентной скорости пламени:

$$K = \varphi t \cdot I / gC, \quad (1)$$

где  $\varphi t$  – продолжительность основной фазы сгорания, град. ПКВ;  $I$  – ионный ток, мкА;  $gC$  – массовая доля углерода в топливовоздушной смеси.

$$\varphi t = t \cdot D, \quad (2)$$

где  $t$  – время возникновения сигнала на ионизационном датчике, мс;  $D$  – угол поворота коленчатого вала двигателя в единицу времени, град. ПКВ/мс.



Зависимость эмиссии несгоревших углеводородов (CH) от параметра  $K$  и концентрации водорода в метановоздушной смеси

На рисунке показана зависимость концентрации несгоревших углеводородов от модифицированного параметра  $K$ . В представленном виде концентрация несгоревших углеводородов в ОГ имеет характерную зависимость от параметра  $K$  во всем изученном диапазоне составов смеси ( $\phi = 1 - 1,5$ ) и добавок водорода. Также имеются значения  $K_{opt}$ , соответствующие минимальным концентрациям СН. При этом видна тенденция уменьшения параметра  $K_{opt}$  с увеличением доли добавляемого водорода в топливовоздушную смесь. Следовательно,  $K_{opt}$  соответствует оптимальному балансу турбулентной и ламинарной скоростей пламени в данных условиях, что позволяет оценить влияние относительного изменения скоростей сгорания на выделение СН газовым двигателем.

Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность использования измеренной величины ионного тока в цепи ионизационного датчика для определения величины токсичных компонентов (несгоревших углеводородов) в отработавших газах газобаллонного автомобиля.

#### Библиографический список

1. Andersson I. Cylinder pressure and ionization current modeling for spark ignited engines // Doctoral thesis. 2002.
2. Gao Z., Wu X., Gao H., Liu B. Investigation on characteristics of ionization current in a spark-ignition engine fueled with natural gas-hydrogen blends with BSS de-noising method // International journal of hydrogen energy. 2010. № 35. P. 12918–12929.

3. Ивашин П.В. Зависимость концентрации несгоревших углеводородов в отработавших газах бензиновых ДВС от скорости распространения пламени и ионного тока // Автореф. дис.... канд. техн. наук. Тольятти, 2004.
4. Шайкин А.П., Ивашин П.В., Галиев И.Р. Влияние добавок водорода в метановоздушную смесь на связь электропроводности со скоростью распространения фронта пламени // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: Материалы IV Международной научно-технической конференции, 24-25 апреля 2012 года. Тольятти: ТГУ, 2012. С. 6–11.

## **ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ВОДОРОДА В СЖАТЫЙ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ В ПЕРВОЙ ФАЗЕ СГОРАНИЯ**

*Галиев И.Р., Ивашин П.В.  
Тольяттинский государственный университет  
sbs777@yandex.ru*

Устойчивый, интенсивный рост количества автомобилей способствует усилению техногенного прессинга на природу, в том числе и на человека. На долю автотранспорта приходится более половины всех вредных выбросов в окружающую среду, что делает его главным источником ее загрязнения. Поэтому, в настоящее время для улучшения экологических показателей транспортных средств реализуются масштабные программы по конвертации двигателей внутреннего сгорания на природный газ. Однако газовый двигатель, несмотря на достаточно низкий уровень токсичности выхлопа, имеет резервы для дальнейшего улучшения экологических показателей. Одним из наиболее перспективных путей снижения токсичности газового двигателя является использование смесового топлива, представляющего собой смесь природного газа и водорода в разных пропорциях, т.е. Н/СПГ топлива [1, 2]. Несмотря на многочисленные исследования в данной области, пока еще не изучено влияние Н/СПГ топлива на скорость распространения пламени в первой фазе сгорания. Это является необходимым условием для более глубокого понимания влияния Н/СПГ на показатели работы двигателя.

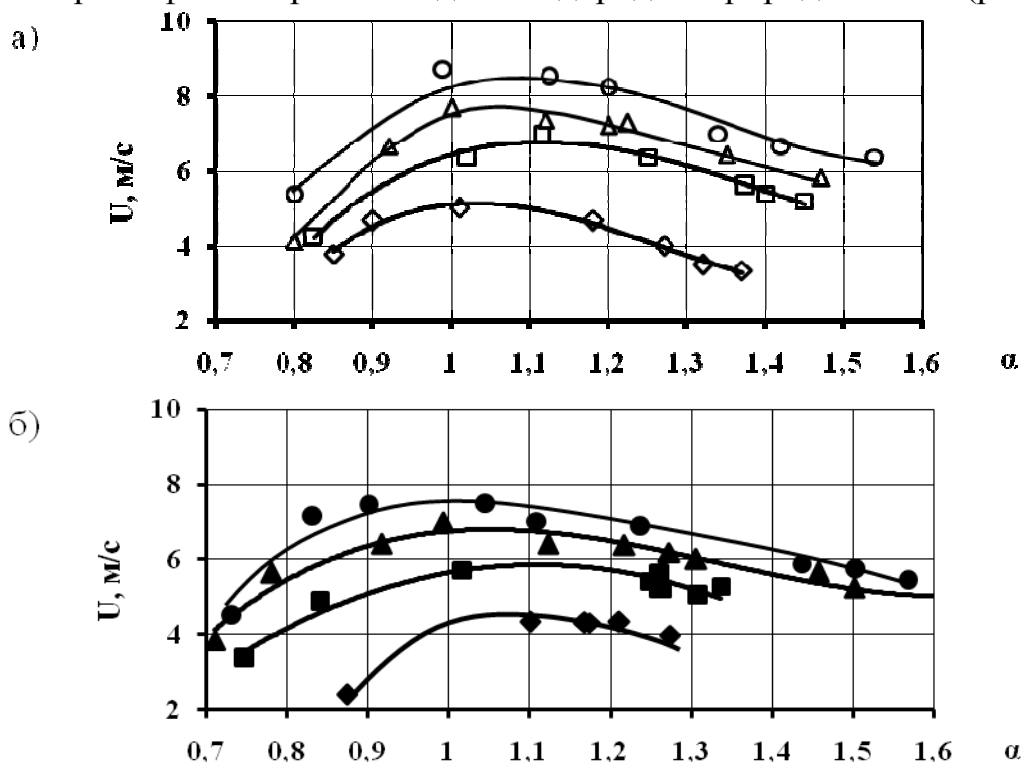
Целью работы является определение влияния Н/СПГ топлива (в разных соотношениях водорода и природного газа) на скорость распространения пламени в первой фазе сгорания.

Эксперименты проводились на одноцилиндровой, четырехтактной установке УИТ-85. В качестве топлива использовался сжатый природный газ, в который добавлялся водород в количестве 5, 10, 15 % (по массе). Испытания проводились на двух скоростных режимах: 600 и 900 об/мин. Для определения скорости пламени в первой фазе сгорания был изготовлен ионизационный датчик, который располагался непосредственно в свече зажигания, на расстоянии 7 мм от её электрода.

Методика проведения экспериментов заключалась в регистрации сигнала с ионизационного датчика и записи осциллограмм. По результатам измерений промежутка времени ( $t$ ) от подачи искрового разряда до возникновения импульса напряжения ионного тока, было определено среднее значение скорости

распространения фронта пламени ( $U$ ) по формуле:  $U=L/t$ , где  $L$  – расстояние от свечи зажигания до ионизационного датчика.

По полученным результатам был построен график зависимости скорости пламени в первой фазе сгорания от доли водорода в природном газе (рисунок).



Зависимость скорости распространения фронта пламени в первой фазе сгорания от коэффициента избытка воздуха и доли водорода в природном газе: а)  $n=900$  об/мин; б)  $n=600$  об/мин;  $H_2=0\%$ :  $\diamond$ ,  $\blacklozenge$ ;  $H_2=5\%$ :  $\square$ ,  $\blacksquare$ ;  $H_2=10\%$ :  $\triangle$ ,  $\blacktriangle$ ;  $H_2=15\%$ :  $\circ$ ,  $\bullet$

Из анализа данных, представленных на рисунке, выявлено, что для обоих скоростных режимов, наблюдается увеличение средней скорости распространения фронта пламени при 5, 10 и 15 % добавке водорода в природный газ. Наибольший рост скорости наблюдается при работе установки на бедной смеси с добавкой  $H_2 = 5\%$ . Так, при  $\alpha = 1,3$  добавка  $H_2 = 5\%$  увеличивает в среднем скорость сгорания на 40 % ( $n = 900$  об/мин) и на 30 % ( $n = 600$  об/мин), а при  $\alpha = 1$ , увеличение скорости составляет 23 % ( $n = 900$  об/мин) и 20 % ( $n = 600$  об/мин). Причиной этому является увеличение доли водорода в ТВС. Поскольку известно, что водород при высоких температурах превращается в активный атомарный водород. Следовательно, добавка водорода способствует формированию высокоактивных центров химических реакций, снижению энергии воспламенения и расширению пределов сгорания исходного топлива [3].

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено заметное влияние концентрации водорода в природном газе на скорость распространения пламени в первой фазе сгорания. При этом наибольший рост скорости наблюдается при работе установки на бедной смеси с добавкой водорода 5 %.

#### Библиографический список

1. Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н., Майстренко Г.В. Влияние добавки водорода к природному газу на свойства смесового топлива // Сб. труд. ХНТУ. Харьков, 2009.

2. Deltoro A., Frailey M., Lynch F. Development and demonstration of hydrogen and compressed natural gas (H/CNG) blend transit buses // Technical Report NREL/TP-540-38707, 2005.
3. Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей. Киев: Наукова думка, 1984.

## **О РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ**

*Галиев Р.Р., Косых А.Н., Лобунец О.Д.  
УрФУ, E-mail: oleg\_lobunets@mail.ru*

Важное значение при решении задач энерго- и ресурсосбережения имеет математическое описание исследуемых процессов. При этом более полный учет существенных сторон рассматриваемых явлений возможен чаще при изучении динамических свойств исследуемых систем, которые описывают с помощью дифференциальных уравнений. Однако при практической реализации данной задачи возникает ряд проблем, от успешного решения которых зависит эффективность проводимой работы, в том числе в области энерго- и ресурсосбережения.

Первая проблема связана с известными трудностями получения адекватного математического описания исследуемых процессов, а вторая проблема состоит в необходимости решения полученных линейных либо нелинейных дифференциальных уравнений и систем этих уравнений. Если для успешного решения первой проблемы до сих пор в основном применяют эвристические или экспериментальные методы, то многочисленные попытки решения второй проблемы уже дали ряд более или менее удовлетворительных результатов. К широко используемым методам решения дифференциальных уравнений можно отнести классический метод, методы преобразования Карсона–Хевисайда, Лапласа и Фурье, метод пространства состояний и другие. С развитием ядерной энергетики, ракетно-космической и вычислительной техники распространение получили универсальные способы решения дифференциальных уравнений, метод Эйлера и чаще метод Рунге-Кутты четвертого порядка. Большое число попыток решения задачи данного направления можно объяснить важностью уже разрешенных и разрешаемых проблем.

Однако, наряду с названными выше методами, особенно с развитием программного обеспечения компьютеров, стал применяться и метод компьютерного моделирования. Так, в известной мере, универсальная и мощная, специализированная применительно к решению задач электротехники и электроники система *Electronics Workbench* получила распространение к середине 90-х годов прошедшего столетия. В последующие годы произошло дальнейшее развитие этой плодотворной системы. Один из лидеров мирового уровня – корпорация *National Instruments* начала выпуск эффективного программного продукта *Multisim*, предназначенного для исследования и разработки электрических и электронных схем, и дополнительных модулей к этому продукту. Поэтому для решения названной группы задач в настоящее время признана целесообразной разработка электронной библиотеки решений дифференциальных уравнений.

Путем сравнения с имеющимися в ней решениями данных эксперимента и могут быть получены заключения о характере происходящих в реальных системах процессах.

В качестве примера резидентных фрагментов библиотеки на рис. 1 приведена схема, моделирующая дифференциальное уравнение второго порядка

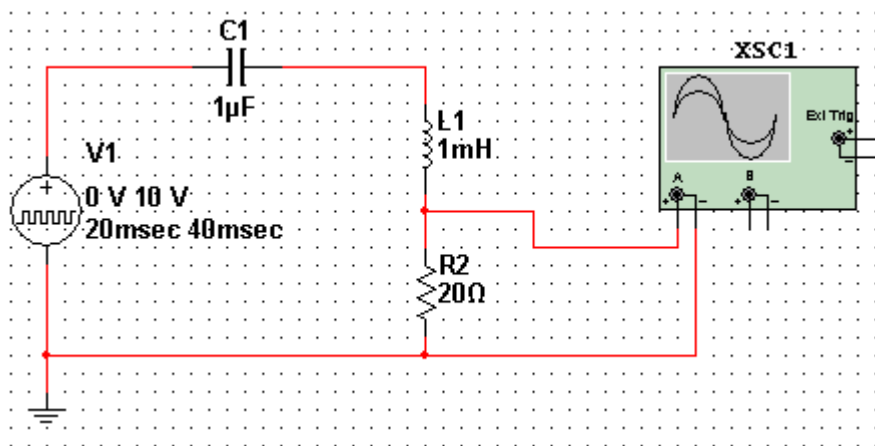


Рис. 1. Схема резидентного фрагмента библиотеки

Решение дифференциального уравнения, соответствующего приведенной схеме электронной библиотеки, приведено на рис. 2.

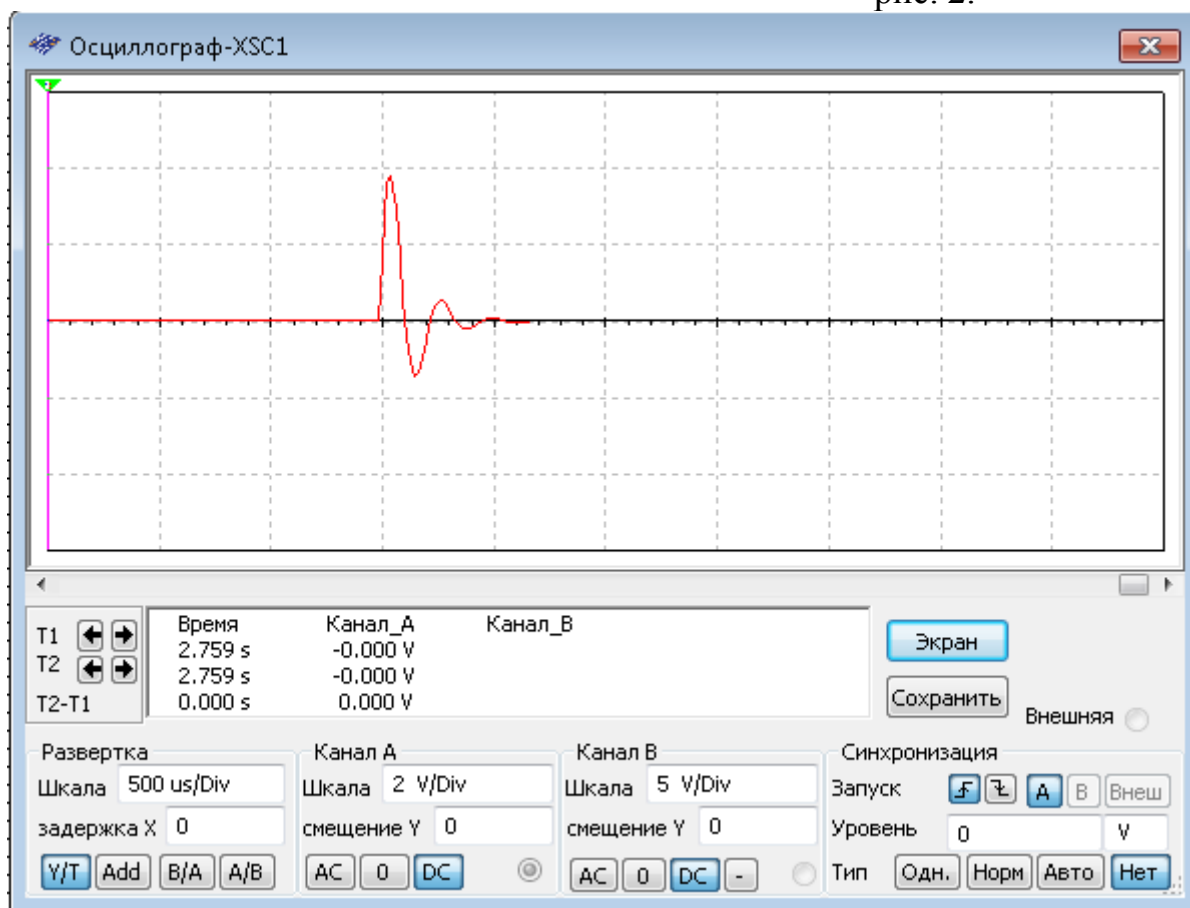


Рис. 2. Решение дифференциального уравнения схемы фрагмента библиотеки

Использование электронной библиотеки решений дифференциальных уравнений в ряде случаев позволить уменьшить затраты труда по изучению динамических процессов в реальных системах и, как следствие, получить более весомые результаты в важной работе по энерго- и ресурсосбережению.

## **НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ НЕЗАВИСИМОСТИ ОТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ТЕПЛОТЫ ОТ НОВО-СВЕРДЛОВСКОЙ ТЭЦ**

*Гарифуллина Г.Ф., Зимовец И.А., Потапов В.Н., Мехеева Э.Э.  
УрФУ, tes.urfu@mail.ru*

Инженерам, создавшим современные и самые экономичные в мире ТЭС (тепловые электростанции) для выработки электрической энергии на тепловом потреблении (ТЭЦ), известно, что достичь предельный уровень эффективности использования топлива для получения энергии невозможно без использования низкопотенциальной теплоты уходящих газов – недоохлажденных продуктов сгорания котлов, даже угольных. Это позволит вместе с иными решениями достичь КПД нетто выработки электроэнергии на уровне новых немецких и датских бурогольных ТЭЦ в 45...47 %, что в ближайшие годы пока невозможно получить никакими иными решениями. К тому же эти меры стоят примерно в 20 раз дешевле, чем переход существующих ТЭС со сверхкритических давлений на более высокие, ультракритические параметры пара. Однако их внедрение не всегда оправдано в условиях действующей системы формирования тарифов на теплоту для внешних, коммерчески независимых потребителей, и они не всегда вписываются в правила оптовых рынков электроэнергии при отпуске теплоты.

При работе ТЭЦ на эти независимые рынки вторичной энергии возникает проблема сохранения отпуска теплоты с соблюдением требований системного оператора и неукоснительного исполнения утвержденного суточного графика отпуска электроэнергии на соответствующий сегмент рынка электроэнергии. Нарушения графика в ту или иную сторону, более чем на 2 %, вызовут потери за неоплаченную перепоставку электроэнергии на рынок, либо большие штрафы за недопоставку электрической мощности. Дополнительные теплоутилизаторы теплоты уходящих газов для нагрева сетевой воды или иных водяных потоков, нагреваемых обычно паром отборов турбины, позволят изменять на некоторую величину расход отбираемого из турбины пара для подогрева вод, увеличивая или уменьшая при этом выработку мощности последними ступенями паровой турбины, увеличивая или уменьшая на весьма заметную величину мощность электрогенератора, вращаемого паровой турбиной.

Для утилизации дополнительной теплоты уходящих газов за последние 50 лет предлагались разные способы. Рассмотрим три самых естественных из них. Во-первых, это, конечно, установка дополнительных теплофикационных экономайзеров – ТВЭ (терминология Е.В. Волкова, кафедра ТЭС бывшего УПИ) последовательно в прямом потоке газов за воздухоподогревателем котла, перед дымососом (ДС). Эту схему глубокого охлаждения газов от температуры при их выходе из воздухоподогревателя до конечной температуры без разделения на диапазоны в одном теплообменном аппарате считаем нецелесообразной ни термодинамически, ни технологически, особенно при охлаждении газов до точки росы и ниже (кроме варианта работы с установкой мокрой сероочистки, что

невозможно в условиях отечественной энергетики). Считаем также, что лишен смысла и повторный нагрев газов, охлажденных по этой схеме, но уже до температур, допускаемых материалами и конструкцией дымовой трубы. Это прямые и неоправданные потери теплоты сожженного топлива в котле, что делает сомнительным прямое одноступенчатое глубокое охлаждение дымовых газов с конденсацией водяных паров. Полученный при этом весьма скромный объем конденсата из дымовых газов требует очистки из-за опасности наличия в сжигаемом природном газе небольшого количества серы и твердых частиц, а в самих дымовых газах после топки – углеводородов вследствие неполноты сгорания.

Поэтому подача в цикл ТЭЦ этого небольшого объема конденсата вряд ли будет заметно дешевле, чем эквивалентное повышение мощности систем, существующих на ТЭЦ подготовки разных вод. Причем также нет никаких гарантий, что эта дополнительная, хотя и не очень мощная, утилизационная установка теплоты (ТВЭ) не окажет влияние на работу конвективного газохода котла и не отразится на уровне подогрева воздуха перед топкой. Если при этом возникнет угроза хоть небольшого недогрева воздуха перед топкой, то очень возможно, что необходимое при этом компенсационное увеличение расхода топлива заметно снизит ожидаемый экономический эффект от всей установки. Для обоснования положительного эффекта всегда необходимо для подобных решений выполнять многовариантные и полные тепловые расчеты котла как вместе с ТВЭ, так и без него в самых разных вариантах отпуска теплоты и электроэнергии. Если в более простом варианте отказаться от использования теплоты конденсации водяных паров в контактном аппарате, то установка лишь поверхностных подогревателей воды снизит мощность установки ТВЭ, увеличив одновременно ее массу, объем и затраты электроэнергии на тягу.

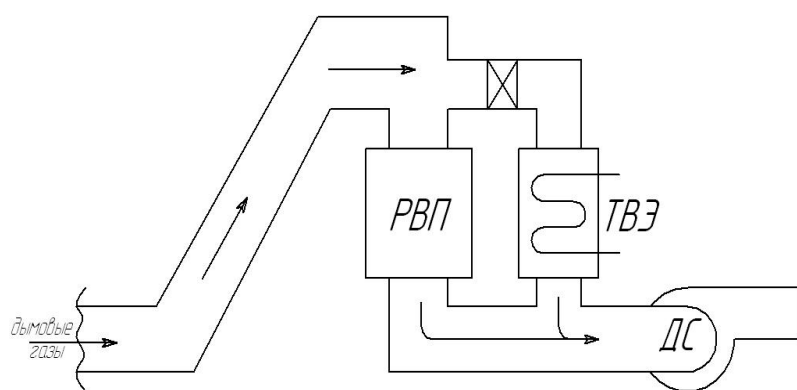
Менее выгоден другой вариант установки дополнительного ТВЭ, также в прямом потоке дымовых газов, но теперь уже перед воздухоподогревателем котла, то есть в прямом потоке газов после штатного водяного экономайзера. Чем больше мощность этого ТВЭ, тем больше будет недогрев воздуха перед топкой и выше аэродинамическое сопротивление всего тракта конвективной части котла, следовательно, повысятся затраты энергии на тягу, существенно больше будет также и компенсирующий дополнительный расход топлива.

Поэтому самым выгодным и перспективным следует считать установку ТВЭ по третьей схеме (рисунок). В ней ТВЭ размещен в дополнительном газоходе котла, который шунтирует (байпасирует) воздухоподогреватель. По такому шунтирующему газоходу, по данным анализа, ранее выполненного на кафедре ТЭС УПИ, пойдет от 5-10 % до примерно 40 % всех продуктов сгорания в том же котле, прежде всего, сжигающем природный газ.

Варианты такой установки ТВЭ с включением снятой в нем теплоты уходящих газов более 30-40 лет назад были предложены и отработаны на кафедре ТЭС УПИ под руководством Е.В. Волкова и на Подольском котельном заводе под руководством А.У. Липеца. Позже по той же схеме спроектирован, но не реализован, новый паровой котел на Таганрогском котельном заводе и была предложена модернизация котла газового энергоблока 800 МВт в ЦКТИ и в



УралТЭП. Уже в 70-е годы, сначала на одном корпусе котла № 12 СУГРЭС, а затем и на № 14, были смонтированы и успешно эксплуатируются ТВЭ для дополнительного нагрева воды установки таких ТВЭ по проекту кафедры ТЭС и УрО РАН. В разработке первого принял участие начинающий инженер, ныне руководитель данной работы. Позже им был также предложен ряд вариантов внедрения таких схем ТВЭ для обеих Сургутских ГРЭС и Ново-Свердловской ТЭЦ. Для всех этих вариантов были оптимизированы мощность и параметры работы ТВЭ, с целью увеличения отпуска коммерческой теплоты внешним потребителям с учетом максимальной экономии топлива при ее получении. В настоящее время оба ТВЭ на СУГРЭС обеспечивают нагрев воды контура подогрева газа перед газовой турбиной – детандера с электрогенератором, где около 70 % этой теплоты превращается в рекордно дешевую электроэнергию.



Установка ТВЭ в байпасе РВП  
котла № 12 на СУГРЭС

Схема не дает чистой экономии топлива, так как имеется дополнительный расход топлива, компенсирующий недогрев воздуха в воздухоподогревателях: в двух РВП на СУГРЭС или в проекте для Ново-Свердловской ТЭЦ. Но этот дополнительный компенсирующий расход топлива при доле газов, шунтирующих РВП и ТВЭ, не более чем 40 % от всех продуктов сгорания, всегда будет меньше экономии топлива от утилизации теплоты уходящих газов. Минимум компенсационной подачи топлива будет при доле шунтирующих газов 7-9 % от дымовых газов, обеспечивая максимальный эффект от выработки дополнительной теплоты.

В настоящее время актуальнее использовать схему, показанную на рисунке, для частичного разделения связи отпуска теплоты и электроэнергии от Ново-Свердловской ТЭЦ для сохранения электрической мощности при колебаниях погодных условий или при исполнении графика отпуска электроэнергии на рынок и распоряжений системного оператора. В этих режимах изменения нагрузок отпуска двух видов энергии рекомендуем дополнительно воздействовать на них, варьируя нагрузки ТВЭ и отпуск пара на сетевые подогреватели паровых турбин Ново-Свердловской ТЭЦ. Это позволит сократить и даже устранить на Ново-Свердловской ТЭЦ как выплаты штрафов за недоотпуск электроэнергии, так и перерасход топлива на котлах ТЭЦ от неоплачиваемого сброса в сети избыточной электрической мощности.

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ЗА СЧЕТ ВИЭ

*Гладиков А.А., Щеклеин С.Е.  
УрФУ, e-mail: gladikovv @gmail.com*

В последние годы возросла потребность в автономном обеспечении электрической энергией станций катодной защиты магистральных газопроводов, расположенных на значительном расстоянии от централизованных сетей электроснабжения.

На магистральных газопроводах наиболее часто встречается электрохимическая коррозия, которая может быть атмосферной (в среде влажного воздуха), морской (в морской воде и атмосфере), почвенной, грунтовой или подземной (в почвенных электролитах). Возможна также электрокоррозия (под воздействием блуждающих токов).

Подземная коррозия металлических трубопроводов приводит к значительным экономическим потерям. Она является причиной аварийных остановок и ремонтов, связанных заваркой каверн, наваркой заплат, врезкой катушек, заменой участков трубопроводов и поврежденных коррозией конструкций, потерь транспортируемого продукта, загрязнения окружающей среды, простоев оборудования потребителей газа. Для предотвращения этого необходимо применять научно обоснованные и практически оправданные методы защиты от коррозии.

На данный момент основным оборудованием для активной электрохимической защиты газопроводов являются установки катодной защиты (УКЗ) мощностью от 0,3 кВт до 5 кВт, работающие от однофазной электрической сети с напряжением 220/240 В и от автономных источников тока (АИТ), преобразующих тепловую энергию, получаемую при горении природного газа в электрическую. В АИТе используется эффект Зеебка.

Для подачи электроэнергии на установки ЭХЗ применяются линии электропередач 6/10 кВ протяженностью до 20 км, а в частных случаях и значительно больше. После ЛЭП непосредственно перед УКЗ устанавливается трансформатор, понижающий напряжение с 6/10 кВ до 220/240 В.

Чем протяженнее ЛЭП, тем она дороже при строительстве и в эксплуатации и тем ниже ее надежность, учитывая лесистую и болотистую местность. Дополнительным фактором ненадежности ЛЭП является фактор незащищенности от третьих лиц – это кражи проводов и электрооборудования. Таким образом, получается снижение надежности электроснабжения в разы. Простой линий электропередач по причине аварий составляет до 20 % времени. Это средний показатель: основная масса линий работает достаточно надежно, но большой процент отключен до 50 % времени, а некоторые простаивают годами.

Причинами аварийных отключений являются падение деревьев на провода, попадание молний, падение опор, электрический пробой опорных изоляторов, выход из строя высоковольтных кабелей.

Восстановить ЛЭП в труднодоступной местности, а именно в болотах, можно только в зимний период времени, и это требует больших затрат. На не-

которых ЛЭП зафиксированы случаи кражи проводов общей протяженностью до 5 км, причем трижды за один год, падение деревьев на ЛЭП – восемь раз за один месяц.

Проблема состоит в том, что от одной ЛЭП запитаны несколько УКЗ и её отключение независимо от причин приводит к отсутствию электрохимической защиты на протяжённых участках газопроводов, что приводит к снижению ресурса газопроводов.

В ГОСТах и СТО написано: «Стальные сооружения ОАО «Газпром» подлежат защите от коррозии независимо от условий их эксплуатации», «Средства защиты от коррозии должны обеспечивать защиту сооружений от коррозии в течение всего срока их эксплуатации».

Из вышесказанного следует, что небольшой источник электрической энергии должен находиться непосредственно там, где эта энергия и будет потребляться.

Также используются автономные источники тока для электроснабжения УКЗ, преобразующие тепловую энергию, получаемую при горении природного газа, в электрическую. В АИТе используется эффект Зеебека – явление возникновения ЭДС в электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах.

Рассматривая второй вариант электроснабжения СКЗ, а именно автономный источник тока, можно выявить следующие преимущества: простота конструкции и высокая надёжность, обусловленная отсутствием движущихся деталей, что исключает износ от трения; простота и надёжность снижают требования к обслуживающему персоналу; возможность получения необходимой мощности; высокая эксплуатационная надёжность; продолжительный срок службы до 20 лет. Недостатком АИТ-150 является низкий КПД, около 2 %, и отсутствие автоматического контроля. На замену им пришли более совершенные устройства, такие как Global TEG-5220 с выходной мощностью 220 Вт и КПД около 3 %. Данное устройство оснащено автоматом розжига пламени, выполняющим автоматический розжиг в случае погасания пламени (автоматический розжиг осуществляется также при возобновлении подачи газа после отключения) и стабилизатором выходного напряжения, защитой от короткого замыкания и обрыва в цепи потребителя.

Решением данной проблемы может быть использование возобновляемых источников энергии, например, фотоэлектрическая станция (ФЭС) в системе с АКБ. Установленная мощность УКЗ составляет 300 Вт, тогда суточное энергопотребление составит 7,2 кВт·ч. Одна АКБ с плотностью тока 200 А·ч и выходным напряжением 24В вырабатывает 4,8 кВт·ч. Возьмем средний приход солнечной радиации на Урале  $J = 200 \text{ Вт/м}^2 = 0,2 \text{ кВт/м}^2$ , используя график прихода солнечной радиации в сутки, определим энергосыработку ФЭС

$$Э_{\text{солн}} = 24 \cdot J \cdot F = 24 \cdot 0,2 \cdot F = 4,8F,$$

где  $J$  – приход солнечной радиации в сутки, кВт/м<sup>2</sup>;  $F$  – площадь фотоэлектрической панели.

Подставим это значение в формулу энергоснабжения ФЭС:

$$\mathcal{E}_{\text{ФЭС}} = \eta_{\text{ФЭС}} \cdot \mathcal{E}_{\text{солн}} = 0,2 \cdot 4,8F$$

Отсюда выражаем площадь ФЭС

$$F_{\text{ФЭС}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ФЭС}}}{\eta_{\text{ФЭС}} \cdot \mathcal{E}_{\text{солн}}} = \frac{4,8}{0,2 \cdot 4,8} = 5 \text{ м}^2$$

Так как требуемое потребление УКЗ составляет 7,2 кВт·ч, то возьмем 2 АКБ. С учетом коэффициента запаса

$$F''_{\text{ФЭС}} = K_{\text{зап}} \cdot F_{\text{ФЭС}} = 4 \cdot 10 = 40 \text{ м}^2,$$

где  $K_{\text{зап}}$  – коэффициент, учитывающий пасмурные дни.

Из расчета видно, что для электроснабжения УКЗ мощностью 300 Вт в условиях Уральского региона требуются фотоэлектрические преобразователи, площадью 40 м<sup>2</sup> и 2 АКБ с выходным напряжением 24 В и плотностью тока 200 А·ч. Это позволит за счет использования возобновляемых источников энергии обеспечить автономное электроснабжение УКЗ.

## О ВЛИЯНИИ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ВНЕШНЕГО МАССООБМЕНА (МАССООТДАЧИ) ПО ВЫСОТЕ ВИБРОКИПАЮЩЕГО СЛОЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Горбунова А.М.

УрФУ, anessa.86@mail.ru

Качество химико-термической обработки тел в виброкипящем слое, сопровождающейся массообменом, зависит и от равномерности протекания такого процесса по обрабатываемой поверхности.

Об интенсивности внешнего массообмена (массоотдачи) в различных горизонтальных сечениях виброкипящего слоя можно судить, исследуя локальный массообмен по высоте вертикального цилиндра, размещенного в слое.

В данных исследованиях в качестве модельного использовался процесс сублимации цилиндрического образца [1], набранного из 10-ти одинаковых нафталиновых таблеток с исходным средним диаметром 14 мм и высотой 10 мм каждая, нанизанных на общий стержень, с помощью которого образец жестко крепился в центре слоя. Для устранения массообмена с торцов нижняя и верхняя таблетки изолировались шайбами

Опыты проводились [2] в аппарате квадратного сечения 100×100 мм и высотой 160 мм, который жестко крепился к столу вибростенда. Параметры вертикально направленной вибрации составляли: частота  $f = 40$  Гц, амплитуда  $A = 0,4 \div 1,4$  мм, высота неподвижной засыпки  $H_0 = 120$  мм. Сыпучим материалом служил электрокорунд узких фракций, инертный по отношению к парам нафталина, с размером частиц  $d_T = 0,12, 0,25$  и  $0,63$  мм. Для характеристики внешнего массообмена применялся коэффициент массоотдачи  $\beta$ , который рассчитывался по уравнению [1, 2]:

$$\beta = \frac{\Delta M \cdot R_{\text{пн}} \cdot T_{\text{сл}}}{F \tau (P_{\text{пн.с}} - P_{\text{пн.0}})}, \text{ м / ч}, \quad (1)$$

где  $\Delta M$  – изменение массы испытуемого тела (в данном случае – каждой таблетки) за время  $\tau$ , кг;  $R_{\text{пн}} = 8314/\mu_{\text{н}}$  – газовая постоянная паров нафталина, Дж/(кг·К),  $\mu_{\text{н}} = 128,17$  кг/кмоль – молекулярная масса паров нафталина;  $T_{\text{сл}}$  – температура слоя, К;  $F$  – поверхность тела, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время, в течение которого произошло изменение массы тела на величину  $\Delta M$ , ч;  $P_{\text{пн,с}}$ ,  $P_{\text{пн,0}}$  – парциальные давления паров нафталина на поверхности тела и вдали от нее, Па. Последнее вследствие интенсивной самовентилиации в виброкипящем слое [2] принималось равное нулю. Для интенсификации процесса осуществлялся подогрев слоя до 60 °С. Среднеквадратичная погрешность определения коэффициентов массоотдачи не превышала  $\pm 8$ .

На рис. 1 и 2 приведены типичные опытные данные, по которым можно судить о влиянии размера частиц на характер распределения и интенсивность внешнего массообмена (массоотдачи) по высоте виброкипящего слоя.

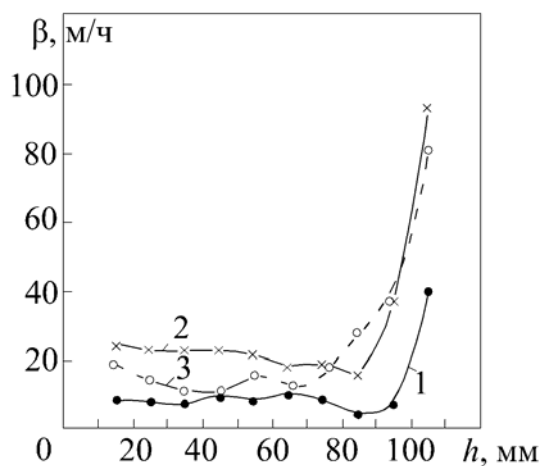


Рис. 1. Влияние размера частиц на характер распределения коэффициента  $\beta$  по высоте слоя  $h$  при  $A = 0,6$  мм,  $f = 40$  Гц,  $H_0 = 120$  мм: 1 –  $d_{\text{T}} = 0,12$  мм; 2 –  $d_{\text{T}} = 0,25$  мм; 3 –  $d_{\text{T}} = 0,63$  мм

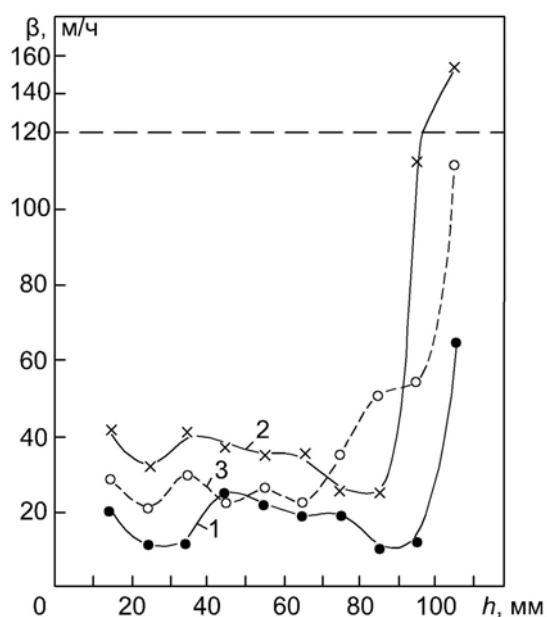


Рис. 2. Влияние размера частиц на характер распределения коэффициента  $\beta$  по высоте слоя  $h$  при  $A = 1,0$  мм,  $f = 40$  Гц,  $H_0 = 120$  мм: 1 –  $d_{\text{T}} = 0,12$  мм; 2 –  $d_{\text{T}} = 0,25$  мм; 3 –  $d_{\text{T}} = 0,63$  мм

Общим для приведенных на рисунках экспериментальных кривых является существенная неравномерность коэффициентов  $\beta$  по высоте слоя и аномально высокие коэффициенты  $\beta$  в верхней его части (при  $h \approx 105$  мм).

Обнаруженные закономерности связаны, во-первых, с пульсирующим механизмом создания виброкипящего слоя (от вибрирующего дна камеры) и, во-вторых, с образованием в верхней части его практически безградиентной температурной зоны толщиной порядка 20 мм [3].

Кроме того, из рисунков следует, что с ростом размера частиц (кривые 1-3) наблюдается тенденция вначале увеличения локальных коэффициентов массоотдачи (кривая 2, соответствующая слою частиц  $d_{\text{T}} = 0,25$  мм, располагается выше кривой 1), а затем происходит некоторое снижение интенсивности массообмена (кривая 3, соответствующая слою частиц  $d_{\text{T}} = 0,63$  мм, располагается

ниже кривой 2). Вместе с тем известно, что коэффициенты теплоотдачи в виброкипящем слое монотонно уменьшаются с увеличением размера частиц.

Установленный выше немонотонный характер изменения коэффициентов массоотдачи связан с тем, что во внешнем массообмене большую роль играет перемещение самих частиц, увлекающих за собой газовую среду и тем самым способствуя обмену вблизи поверхности тела свежих и обогащенных парами нафталина порций газа, масса которых пропорциональна объему частиц (эффект присоединенной массы). Но в дальнейшем с увеличением размера частиц одновременно уменьшается их число в единице объема слоя, поэтому после некоторого увеличения коэффициентов  $\beta$  (кривые 2) наблюдается их снижение (кривые 3).

Полученные результаты показывают, что в целом за исключением приповерхностной зоны распределение коэффициентов  $\beta$  по высоте слоя можно считать сравнительно равномерным и, кроме того, с увеличением размера частиц сохраняется высокая интенсивность внешнего массообмена.

#### *Библиографический список*

1. Островская А.В., Королев В.Н. Локальный массообмен по высоте цилиндра, погруженного в псевдоожиженный слой // Инж.-физ. журнал. 1994. Т. 67. № 1-2. С. 43-47.

2. Горбунова А.М. Применение виброкипящего слоя для интенсификации внешнего массообмена (массоотдачи) в процессах теплотехнологии // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 13-16 декабря 2011 г. Екатеринбург: УрФУ, 2011. С. 74-76.

3. Зеленкова Ю.О., Сапожников Б.Г., Ширяева Н.П. Межфазный теплообмен и аксиальная теплопроводность в виброподвижном слое сыпучего материала при продувании над ним газового теплоносителя // Первая Российская национальная конференция по теплообмену. Т. 7. Дисперсные потоки и пористые среды. М.: МЭИ, 1994. С. 95-100.

## **ОЦЕНКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЭФФЕКТОВ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНВЕРТЕРНЫХ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗВЕСТИ**

*Горемыкина П.Г., Махмутов А.А., Ташкангузова А.А.  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
E-mail: kartavzw@mgn.ru*

Определяющим фактором процессов выплавки, доводки стали и ее кристаллизации является конвертерная известь – весьма энергоемкий продукт с интегральными затратами энергии более 200 кг у.т./т.

От качества извести, ее фракционного состава, однородности и степени обжига, реакционной и флюсующей способности в значительной степени зависит качество выплавляемой стали, а в дальнейшем и металлопроката.

Обеспечить постоянно растущие потребности в извести позволит энергосберегающая модернизация и инновация в области обжига известняка. Такие качественные особенности извести как химический и фракционный состав, а также ее реакционная способность во многом отвечают за качество шлакообразования, продолжительность продувки и определяют сорт извести.

Доказано, что качество извести существенно снижается при длительном хранении и транспортировке, что связано с ее гидратацией и истиранием по пути в конвертер. Поэтому ее производство в непосредственной близости от конвертерного производства, а в идеале на самой площадке конвертерных цехов значительно улучшило бы энергоэффективность, и качество поставляемой извести [1, 2].

Одним из таких инновационных предложений в области производства извести является использование конвертерных газов в качестве топливной составляющей в технологии обжига известняка. Учитывая физико-химические характеристики конвертерных газов можно утверждать, что их температурный уровень горения (2300-2800 °С) способен обеспечить теплотехнологию обжига известняка (1200 °С). Выход конвертерных газов составляет 60-80 м<sup>3</sup> на тонну стали [3].

Обжиг известняков преимущественно производят во вращающихся печах. Удельный расход условного топлива на тонну извести колеблется в пределах 150-200 кг у.т., что в среднем составляет около 150-155 м<sup>3</sup> природного газа. Приняв среднюю теплотворную способность конвертерных газов равной 10 МДж, получим следующие результаты [4, 5].

Соотношение расходов энергоресурсов с объемами произведенной извести

Поз.	Опорный момент расчета	Конвертерный газ	Природный газ
1	На 1 т извести, м <sup>3</sup>	520-530	150-155
2	Всего на обжиг извести в год, млн. м <sup>3</sup>	507,4	145
3	Затраты на приобретение, млн. руб.	0	461
4	Суммарный выход CO <sub>2</sub> , млн. м <sup>3</sup>	1224	1361

Для годового производства стали 10 млн т требуется 0,96 млн т извести, для чего необходимо 507,4 млн м<sup>3</sup> конвертерного газа в год, что меньше его выхода из конвертеров на 332,6 млн м<sup>3</sup>. Этот объем конвертерного газа можно использовать на другие нужды предприятия.

Таким образом, энергосберегающее мероприятие по использованию конвертерных газов на замещение природного газа при средней мощности металлургического предприятия 12 млн т стали в год способно дать экономию 461 млн руб.

Помимо этого эффекта, наблюдается также улучшение экологической обстановки, связанное с сокращением выбросов двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>) примерно на 11,2 %.

#### *Библиографический список*

1. Копцев В.В. «Совершенствование технологии и техники производства металлургической извести»: Монография. Магнитогорск: МГТУ, 2004. 148 с.
2. Бигеев А.М. Непрерывные сталеплавильные процессы М.: Металлургия, 1986. 136 с.
3. Горелова А.В., Очкасова Л.Ю., Картавец С.В. Эффективное использование конвертерного газа // Энергетики и металлурги – настоящему и будущему России: Материалы 10-й Всероссийской конференции аспирантов и студентов / под редакцией Сеничкина Б.К. Магнитогорск: МГТУ, 2009. С. 147.
4. Монастырев А.В. Производство извести: учебник. М.: Высшая школа, 1971. 272 с.
5. Нешпоренко Е.Г. Использование вторичных ресурсов конвертерной плавки для приготовления извести // Энергетики и металлурги – настоящему и будущему России: Материалы 2-й Всероссийской конференции аспирантов и студентов / под редакцией Сеничкина Б.К. Магнитогорск: МГТУ, 2001. С. 47.

## ОПЫТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

*Горшков Е.И., Левин Е.И., Микула В.А.  
УрФУ, E-mail: tes.urfu@mail.ru*

В 2011-2012 гг. нами были проведены энергетические обследования (теплотехническая часть) нескольких предприятий цветной металлургии в соответствии с Федеральным законом «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» № 261 от 23.11.2009 г.

Основными целями энергетического обследования является оценка эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и воды на предприятиях, определение возможностей и путей ее повышения и разработка комплекса первоочередных мер, направленных на снижение затрат предприятий на топливо, тепловую энергию, электрическую энергию, водоснабжение.

Наиболее значительными на обследованных предприятиях являются потери от невозврата конденсата пара, потери с продувкой, потери с проскоком пара, потери через тепловую изоляцию паровой и водяной сети, потери со сбросом технологического пара в атмосферу.

В результате энергетических обследований нами были сформулированы рекомендации по повышению эффективности использования топлива и тепловой энергии. Для примера приведем несколько наиболее эффективных типовых мероприятий.

1) Перевод системы теплоснабжения отдельных потребителей с «пара» на «воду».

Для выбора оптимального пути реконструкции системы теплоснабжения и перевода системы теплоснабжения отдельных потребителей с «пара» на «воду» выполнена оценка работы системы. Для этого использовалась компьютерная модель тепловых сетей, созданная в ГИС «Zulu». В результате отключения большей части потребителей от паровой сети и обеспечения их потребностей на отопление и вентиляцию от водяной сети получается экономия, складывающаяся из следующих составляющих: экономия тепловой энергии за счет исключения тепловых потерь на отключаемых участках паровой сети; экономия тепловой энергии за счет исключения потерь теплоты от невозврата конденсата пара; дополнительные потери тепловой энергии на вновь прокладываемых участках водяной сети. В результате, капитальные затраты на реконструкцию паровой и водяной сети одного из предприятий составят от 6 до 11 млн руб., а простой срок окупаемости – 1,5-3 года.

2) Комбинированная выработка электрической энергии на базе имеющейся тепловой нагрузки.

Для одного из предприятий установка 4-х ГПА мощностью по 4,3 МВт с паровыми котлами утилизаторами позволит снизить затраты на покупку электрической энергии на 396 млн руб./год. Капитальные затраты (с учетом подключения к газовым и электрическим сетям) составят 1343 млн руб. С учетом эксплуатационных затрат, срок окупаемости составит 6 лет.



### 3) Замена резервного топлива

Рассматривались варианты замены мазута на пропан-бутановую смесь, дизельное топливо.

Преимущества:

- снижение затрат на обеспечение станции аварийным топливом;
- исключение расходов на ремонт хвостовых поверхностей котлов после работы на мазуте;
- уменьшение затрат на поддержание системы снабжения резервным топливом в состоянии готовности.
- при замене резервного топлива на дизельное топливо на маленьких котельных устанавливается небольшая емкость (значительно меньшего размера, чем нормативный объем резервного топлива), а на остальной объем заключается договор с нефтебазой, гарантирующий поставку требуемого объема в аварийной ситуации в течение очень короткого времени.

Экономия от замены резервного топлива на пропан-бутановую смесь на одном из предприятий составит 2 млн руб./год. Капитальные затраты 4,6 млн руб. Простой срок окупаемости 2,3 года.

### 4) Применение установок прямого нагрева воздуха (ПНВ).

Экономия, по сравнению с теплоснабжением от котельной на одном из предприятий составит 3,2 млн руб./год.

### 5) Увеличение степени утилизации теплоты за печами и использование её для нагрева воды на ГВС.

Получение воды на ГВС в теплоутилизаторах позволит более глубоко охладить газы после печи (до температуры 110-150 °С, вместо 200-250 °С) и утилизировать их теплоту не только в отопительный сезон, но и вне его. Экономия для одного из предприятий составит около 30 млн руб./год. Срок окупаемости около 1 года.

На большинстве обследованных предприятий вторичные энергоресурсы (чаще всего это уходящие газы печей, конверторов и пр.) используются для получения пара и нагрева сетевой воды. Анализ режимов работы технологического оборудования показал, что в некоторых случаях имеющиеся тепловые потоки, которые теоретически можно утилизировать, имеют низкую температуру, высокую запыленность, либо не постоянны во времени.

В целом можно оценить работу энергослужб и энергетическую политику обследованных предприятий положительно. На многих предприятиях ведется активная работа по энергосбережению. Эксплуатация котельных и ТЭЦ осуществляется на высоком уровне. На части предприятий уже сейчас заменяются старые котлы, устанавливается частотное регулирование приводов насосов и тягодутьевых механизмов, используется теплота продувочной воды котлов, установлены системы автоматического регулирования соотношения газ-воздух.

Реализация предложенных мероприятий позволит снизить потребление топлива на обследованных предприятиях на 2-10 % (в среднем на 6,3 %).

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗООЧИСТКИ ТРЕТЬЕЙ ЛИНИИ АСПИРАЦИИ ХМЦ ОАО «УРАЛЭЛЕКТРОМЕДЬ»

Гринёв Д.И., УрФУ

Шунин В.А., Королёв А.А., ОАО «Уралэлектромедь»

Главным газоочистным аппаратом третьей аспирационной линии Отделения переработки шламов Химико-металлургического цеха ОАО «Уралэлектромедь» является скруббер с полнопрофильной трубой Вентури, работающей в высокоскоростном режиме, порядка 120 м/с, и, соответственно, с высоким сопротивлением. Скруббер предназначен для улавливания пыли и поглощения вредных газов. В связи с тем, что трубы Вентури, в первую очередь, аппараты для улавливания взвешенной фазы, а не абсорбции, достигаемая общая степень газоочистки ниже требуемой. Для модернизации скруббера с целью повышения степени поглощения вредных газов и снижения капельного уноса приняты меры по модернизации его системы орошения.

Для очистки газов от микронной и субмикронной пыли главным образом применяют скоростные скрубберы. Принцип действия этих аппаратов основан на интенсивном дроблении газовым потоком орошающей его жидкости и высокие относительные скорости между ними. Более высокая эффективность пылеулавливания по сравнению с полыми газопромывателями достигается в скрубберах Вентури созданием развитой поверхности контакта фаз, что требует и значительно более высоких энергозатрат. Образование тонкодисперсного аэрозоля происходит при этом как за счет механической диспергации промывочной жидкости, так и вследствие интенсивного испарения капель при резком падении давления в горловине.

Труба Вентури состоит из служащего для увеличения скорости газа конфузора, в котором размещают оросительное устройство, горловины, где происходит осаждение частиц пыли на каплях воды, и диффузора, в котором протекают процессы коагуляции, а также за счет снижения скорости восстанавливается часть давления, затраченного на создание высокой скорости газа в горловине. В каплеуловителе тангенциального ввода газа создается вращение газового потока, вследствие чего смоченные и укрупненные частицы пыли отбрасываются на стенки и непрерывно удаляются из каплеуловителя в виде шлама. Скрубберы Вентури могут работать с высокой эффективностью: 96-98 % на пылях со средним размером частиц 1-2 мкм и улавливать высокодисперсные частицы пыли (вплоть до субмикронных размеров) в широком диапазоне начальной концентрации ее в газе от 0,05 до 100 г/м<sup>3</sup>. При работе в режиме тонкой очистки от высокодисперсных пылей скорость газов в горловине должна поддерживаться в пределах 100-150 м/с, а удельный расход воды — в пределах 0,5-1,2 дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Это обуславливает необходимость большого перепада давления (10-20 кПа) и, следовательно, значительных затрат энергии на очистку газа.

Установленный на санитарной газоочистке третьей аспирационной линии Отделения переработки шламов Химико-металлургического цеха ОАО «Уралэлектромедь» скруббер Вентури на сегодняшнее время является устаревшей типовой конструкцией. Его труба Вентури работает в высокоскоростном режиме,

что характерно для пылеуловителей, и имеет полноразмерный удлиненный профиль, что характерно для абсорбционных труб. Примененный полый центробежный каплеуловитель имеет завышенную осевую скорость сепарируемого газового потока и малую высоту цилиндрического корпуса, что не обеспечивает улавливание капельной жидкости в требуемом количестве. Скруббер в целом имеет высокое гидравлическое сопротивление, недостаточное время контакта газа с жидкостью для полноты массообменного процесса абсорбции газообразных загрязнителей в рабочем объеме и высокий капельный выброс. В связи с этим скруббер эксплуатируется в режиме заниженной производительности по газу 40000 м<sup>3</sup>/ч против проектных 70000 м<sup>3</sup>/ч (при рабочих условиях).

Замеры на сбросной трубе, проводимые экологической службой завода, показывают превышение содержания загрязняющих компонентов как в виде газовой фазы, так и в каплях выносимого из каплеуловителя абсорбента. В связи с этим специалистами Химико-металлургического цеха и Исследовательского центра ОАО «Уралэлектромедь» с привлечением специалистов кафедры «Машины и аппараты химических производств» химико-технологического института ФГАОУ ВПО «УрФУ» им. Б. Н. Ельцина проводятся этапные работы по модернизации скруббера Вентури с целью повышения его эффективности по абсорбции газовых загрязнителей и снижению капельного уноса при условии минимальных энергетических затрат. Основным техническим решением первого этапа работ выполнено оснащение трубы Вентури дополнительной противоточной форсункой. На втором этапе работ, проводимом в настоящее время, выполняется замена отражательного оросителя горловины на спиральную форсунку с большим углом раскрытия факела. На третьем этапе работ планируется модернизация каплеуловителя.

Исследовательские работы по совершенствованию эффективности работы труб Вентури различного назначения широко проводились в СССР в период 60...80-х годов. Основной задачей здесь являлось повышение эффективности газоочистки при минимизации энергозатрат. Результаты ряда исследований по применению противоточных оросителей горловин труб Вентури показали их промышленную эффективность. За рубежом данные противоточные технологии развились в новый тип скрубберов, отличающихся простотой, надёжностью и эффективностью.

В новом сернокислотном цехе ОАО «СУМЗ», построенном по технологии Monsanto inc, очистка конвертерных и печных газов осуществляется промывкой в последовательно установленных скрубберах DynaWave® и насадочных абсорбционных башнях. Metallургические газы с высоким содержанием SO<sub>2</sub> после предварительной обработки поступают в головной скруббер DynaWave®. DynaWave® является газожидкостным реактором, в котором образуется зона интенсивного смешивания. Газ поступает в верхнюю часть вертикального рукава и вступает в контакт с жидкостью, подаваемой на орошение противотоком снизу вверх. В рукаве, в месте противоточного контакта газа и жидкости, образуется пенная зона вертикального турбулентного потока. После взаимодействия газожидкостная смесь опускается в разделительный сосуд скруббера, в котором происходит разделение жидкости и газа. Данные аппара-

ты Monsanto inc. широко внедряют по всему миру на газоочистках различного назначения и эффективность их подтверждена.

На сегодняшний день нами рассчитаны, спроектированы и установлены модифицированные узлы орошения в существующую трубу Вентури газоочистного скруббера третьей аспирационной линии, включая противоточный. В качестве оросителей применены уникальные форсунки с полным факелом градиентной плотности, спадающей от центра к периферии. Первая серия экспериментов позволила увеличить производительность модернизированного скруббера с 40000 до 60000 м<sup>3</sup>/ч (при р.у.) при повышении степени абсорбции газов до ~80 % при незначительном капельном уносе. Эксперименты показали правильность выбранного направления и позволили спланировать задачи экспериментов по окончательному конструктивному решению оросителей и выбору гидравлического режима циркуляционных насосов.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ

*Жаранов А.В., Ртищева А.С.*

*Ульяновский государственный технический университет  
a.zharanov@mail.ru; al.rtisheva@mail.ru*

Технология автоматического регулирования теплopotребления, а также возможности экономии тепловой энергии при реализации различных режимов регулирования рассмотрены в работах Байтингера Н.М., Бурцева В.В., Богуславского Л.Д., Ковального Н.Н., Мухина О.А., Юрманова Б.Н. и др. [1-2].

Существенный вклад в энергосбережение может дать внедрение программного (по времени) и погодного регулирования теплopotребления. Специалисты отмечают, что системы автоматического регулирования также способствуют улучшению комфортных условий в зданиях. По данным специалистов НПФ «Теплоком» Лачкова В.И. и Недзвецкого В.К., потребление тепла при наличии системы автоматического регулирования можно снизить на 20...30 %.

К примеру, нет необходимости постоянного поддержания температуры внутреннего воздуха на отметке 18-20 °С во многих общественных, производственных и административных зданиях. Ее можно существенно снизить в ночное время в будни, а также в выходные и праздничные дни, но таким образом, чтобы гарантированно не разморозить систему. За 2-3 часа до начала рабочего дня необходимо протопить помещения, увеличив циркуляцию теплоносителя в системе.

Кроме того, для человека более благоприятными являются динамические тепловые режимы, поэтому даже в жилых зданиях есть возможность снижать температуру воздуха в ночные часы на 2-3 °С.

Не менее эффективно и погодное регулирование теплopotребления, так как в межсезонье, когда подача тепла уже началась (еще продолжается), но погода еще неустойчива (холода сменяются оттепелью), очень часто наблюдаются перетопы.

Приборы регулирования и целые системы автоматического регулирования теплотребления производят зарубежные компании: “Ballorex”, “Caleffi”, “Danfoss”, “Eberle”, “Far”, “Grundfos”, “Herz”, “Oventrop”, “Samson”, а также российские компании: НПО «Лайф», «Теплоконтроль» и др.

К устройствам, применяемым для автоматического регулирования теплотребления, относятся различные виды регуляторов (электронные регуляторы, микропроцессорные измерители-регуляторы, терморегуляторы, регуляторы давления), датчики температуры, а также регулирующие клапаны с электроприводом. В системах автоматического регулирования также используются различные пульты управления компьютерная техника с соответствующим программным обеспечением.

Байтингер Н.М., Бурцев В.В., Мухин О.А. выделяют три уровня регулирования теплотребления:

1. Регулирование теплотребления всего объекта.
2. Зонное (пофасадное) регулирование.
3. Поддержание заданной температуры в отдельном помещении.

Схема системы управления теплотреблением (зонное регулирование) представлена на рисунке. Разработчиком представленной системы является НПО «Лайф» (г. Новосибирск).

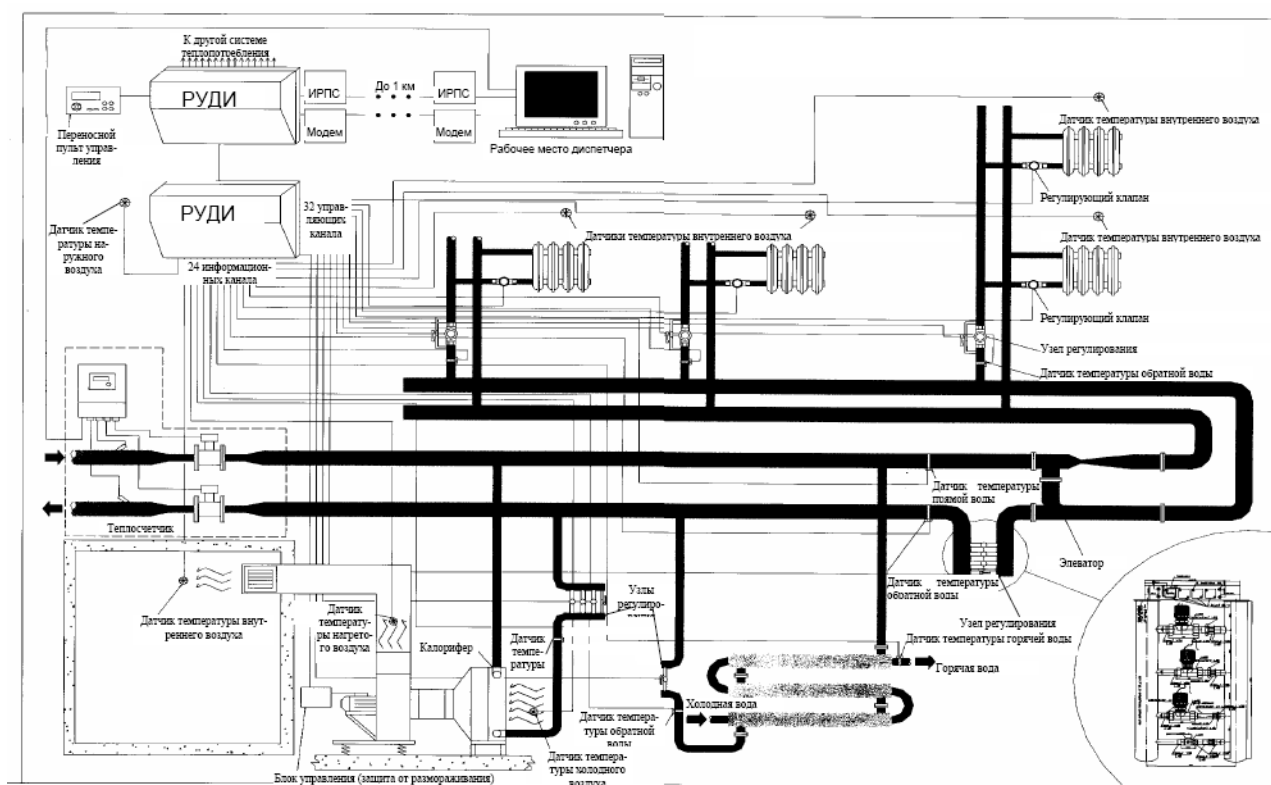


Схема управления теплотреблением здания (зонное регулирование)

Система управления теплотреблением способна для определенной зоны обслуживания осуществить необходимый коэффициент подмешивания теплоносителя  $g$ , который определяется выражением:

$$g = \frac{G_1}{G_3}, \quad (1)$$

где  $G_1$  – массовый расход теплоносителя в подающей магистрали.

$$G_3 = G_1 + G_2, \quad (2)$$

где  $G_2$  – массовый расход теплоносителя в обратной магистрали.

При отсутствии автоматической системы регулирования теплопотребления, коэффициент  $g$  имеет строго определенное значение. При графике центрального качественного регулирования 150/70, а также наличие элеваторного узла, коэффициент подмешивания имеет значение  $g = 0,3125$ . Снижать температуру теплоносителя перед подачей его в отопительные приборы (до отметки не более 95 °С) необходимо, так как при более высокой температуре теплоносителя пыль, которая имеется на отопительных приборах и в воздухе вблизи отопительного прибора начинает «гореть».

При наличии системы автоматического регулирования коэффициент подмешивания  $g$  меняется в соответствии с заданной температурой воздуха в помещениях здания.

Индивидуальное регулирование возможно при установке радиаторных терморегуляторов, рассмотренных выше.

Таким образом, реализация проектов регулирования теплопотребления помогает потребителям существенно сэкономить затраты на тепловую энергию, а также улучшить микроклимат в помещениях здания.

#### *Библиографический список*

1. Байтингер Н.М. Система оптимизации теплопотребления – важный энергосберегающий элемент инженерного обеспечения современного здания / Н.М. Байтингер, В.В. Бурцев // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: материалы 4 науч.-техн. конф. Ульяновск, 2003. С. 136-139.

2. Ковальногов Н.Н. Автоматизированная система оптимального управления отоплением учебного заведения / Н.Н. Ковальногов, А.С. Ртищева, Е.А. Цынаева // Проблемы энергетике. 2007. № 3-4. С. 100-106.

## **АКТИВИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОСЛУШИВАНИИ МУЗЫКИ**

*Жомайко О.С., Ануфриева Е.И.  
УрФУ, zhomayko@mail.ru*

Влияние музыки на человека огромно. О благоприятном влиянии музыки на человека известно с древних времен. Звуки исцеляют и укрепляют, возвышают и воодушевляют, волнуют и радуют, успокаивают и умиротворяют. Свойство музыки влиять на состояние человека применяется сейчас в терапевтических сеансах, рекламе, кино и т.д. В начале XX века было экспериментально доказано, что музыкальные звуки заставляют вибрировать каждую клетку нашего организма, электромагнитные волны воздействуют на изменение кровяного давления, частоту сердечных сокращений, ритм и глубину дыхания. Не случайно в современной медицине всё большее распространение получает наряду с традиционными методиками и музыкотерапия. Многочисленные иссле-

дования и эксперименты ученых доказали, что некоторые мелодии обладают сильным терапевтическим эффектом. Механизм музыкотерапевтического воздействия на живую материю определен как акустико-биорезонансный эффект, в возникновении которого огромную роль играет ритм. Высокий уровень ритмичности, а особенно тот, который совпадает с естественными физиологическими ритмами, вызывает позитивные эмоции.

В России первые научные работы, посвященные механизму влияния музыки на человека, появились в конце XIX - начале XX столетия. В работах В. М. Бехтерева, И. М. Сеченова появились данные о благоприятном влиянии музыки на центральную нервную систему, дыхание, кровообращение и газообмен. В 2003 г. в России музыкотерапия была признана официальным методом лечения. В целом ряде западных вузов сегодня готовят профессиональных докторов, лечащих музыкой. А при музыкальной академии имени Гнесиных создано отделение музыкальной реабилитации. Различают основные формы музыкотерапии: интегративную, рецептивную и активную, каждая из которых оказывает различное влияние на функциональное состояние человека.

Интегративная музыкотерапия наряду с музыкой задействует возможности других видов искусства: рисование, подвижные игры и т.д. Активные методы музыкальной терапии основаны на активной работе с музыкальным материалом: инструментальная игра, пение. Рецептивная музыкотерапия (пассивная) отличается тем, что пациент в процессе музыкотерапевтического сеанса не принимает в нем активного участия, занимая позицию простого слушателя. В процессе исследования была использована именно эта модель.

Для определения влияния музыки на энергетические ресурсы человека был использован наиболее прогрессивный и перспективный метод оценки состояния энергетики человеческого организма – метод газоразрядной визуализации.

Принцип газоразрядной визуализации заключается в следующем [1-3]. Между исследуемым объектом и прозрачным электродом (пластиной), на котором размещается объект, подаются импульсы напряжения от генератора электромагнитного поля, для чего на обратную сторону электрода нанесено прозрачное токопроводящее покрытие. При высокой напряженности поля в газовой среде пространства контакта объекта и пластины развивается лавинный и/или скользящий газовый разряд, характеристики которого определяются свойствами объекта. Свечение разряда с помощью оптической системы и ПЗС-камеры преобразуется в видеосигналы, которые записываются в виде одиночных кадров (ГРВ-грамм) в блок памяти, связанный с процессором обработки кадров. Процессор обработки представляет собой специализированный комплекс, который позволяет вычислить комплекс параметров и на их основе делать определенные диагностические заключения. Модель энергетического поля человека строится на основе топической карты, где определена связь между свечением отдельных секторов пальцев рук человека и его биологическими системами и органами.

Настоящая работа является продолжением исследований, начатых на кафедре БЖД в 2010 г., в которых было показано, что музыка оказывает существ-

венное влияние на энергетические ресурсы человека. В данной работе мы взяли две музыкальные композиции противоположной направленности – тяжелый рок и классику.

В ходе исследования у каждого испытуемого были сняты характеристики вызванного ГРВ свечения 10-ти пальцев рук с фильтром и без фильтра в исходном состоянии и после прослушивания 2-х музыкальных композиций по очереди в течение 3-х минут. 1-я композиция - тяжелый рок. 2-ая композиция - А. Вивальди «Времена года. Декабрь».

С помощью ГРВ-Камеры и программ GDV Capture , GDV Diagram, GDV Energy field мы получили снимки энергетического поля, на которых указана интегральная площадь свечения в пикселях, симметрия поля в %, а также диаграммы состояния и значения основных параметров: коэффициента активации, интегральной энтропии.

Коэффициент активации – основной показатель, который характеризует уровень тревожности и стресса. Коэффициент активации в пределах 0-2 – абсолютно спокойный, полностью релаксированный человек, что может быть связано с несколькими причинами: глубокая медитация, полный внутренний покой; глубокий сон в спокойной фазе и т.п. Коэффициент активации в пределах 2-4 – нормальное спокойное состояние организма.

Многие люди, слушая музыку различных стилей и жанров, даже не задумываются о её влиянии на их психику и поведение, в какой степени это влияние проявляется, какой оно носит характер, к чему может привести, но с огромной уверенностью можно утверждать, что это влияние, так или иначе, является фактом. Проведя эксперименты, мы получили следующие результаты, которые отражены в таблице.

Наименование	Исходное состояние		Прослушивание рок-музыки			Прослушивание классической музыки		
	площадь свеч-я, пиксель	коэф. активации	площадь свеч-я, пиксель	коэф. активации	изменение площади свеч-я, %	площадь свеч-я, пиксель	коэф. активации	изменение площади свеч-я, %
Испытуемый 1	17588	3,15	14381	3,92	-18,2	18045	2,62	2,6
Испытуемый 2	15330	3,15	18634	2,27	21,6	20369	1,87	32,7
Испытуемый 3	22920	3,04	23494	2,35	2,5	22794	2,72	-0,5
Испытуемый 4	21155	3,24	25018	2,42	18,3	23626	2,40	11,7

Анализируя приведенные данные, можно отметить, что у всех испытуемых под воздействием классической музыки произошло улучшение психоэмоционального состояния: снижение коэффициента активации до уровня нормы – спокойного, уравновешенного состояния; увеличение площади свечения энергетического поля. У большинства испытуемых (кроме 1) улучшилось состояние



и после прослушивания рок-музыки, что, по-видимому, связано и с молодым возрастом испытуемых, и с любовью к рок-музыке.

Таким образом, результаты исследования подтвердили, что музыка влияет на человека, изменяя его энергетический потенциал, что сказывается на ГРВ-граммах в изменении плотности, яркости и площади свечения. ГРВ-метод позволяет подойти к исследованию организма человека как сложнейшей энергетической системе с учетом ее эмоциональной и духовной составляющей, поэтому он востребован и в современной медико-биологической практике, и в психологии. Анализируя состояние энергетики, можно учиться рационально использовать энергетический потенциал и сознательно контролировать состояние своей энергосистемы, понимая, какое мощное воздействие оказывают на человека окружающая природная и социальная среда..

*Библиографический список*

1. Коротков К.Г. Принципы анализа в ГРВ биоэлектрографии. СПб.: Реноме, 2007. 286 с.
2. Практические основы метода Газоразрядной Визуализации (ГРВ): учебное пособие. СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2009. 132 с.
3. 3.Основы биоэлектрографии (цифровой кирлианографии) [Электронный ресурс]:URL: <http://biokvant.ru/article/osnovy-bioelektrografii>

## **ИНТЕНСИВНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ РУДОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*Запарнюк М.Н., Нешипоренко Е.Г., Картавцев С.В.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова*

*E-mail:mixaz@list.ru*

Тепловая переработка железных руд осуществляется непосредственно по месту добычи, например в случае специфичных сидероплезитовых руд.

Крупнейшее российское месторождение – Бакальское, Челябинская область – свыше 1 млрд т. На месторождении действует рудоуправление с годовым объемом добычи до 5 млн. т.

Теплотехнологические условия переработки таких руд включают в себя обжиг при температурах не выше 700 °С, охлаждение, последующее сухое магнитное обогащение и размол обожженной руды.

В настоящее время обжиг руды ведут в шахтных печах с применением природного газа (ПГ). Поскольку температура горения ПГ превышает 2000 °С, а на обжиг требуется не более 700 °С, сжигание ПГ ведут с большим избыточным количеством воздуха. Это ведет к неэффективному использованию природного газа.

Далее, на размол продукта, а также для других потребителей используется электроэнергия из региональных энергосистем. Как известно, эта электроэнергия генерируется преимущественно на конденсационных электростанциях с КПД около 40 %, работающих также на природном газе. Такой КПД уже сам по себе увеличивает суммарные затраты природного газа на станции в 2,5 раза. За все это, включая потери на транспорт электроэнергии, платит потребитель.

В работе изучаются возможности энергосбережения при переработке сидероплезитовых руд путем энергетической модернизации схемы энергообеспечения предприятия.

Анализ показал, что используемая схема действительно является затратной. В процессе обжига потребляется значительное количество природного газа –  $38 \text{ м}^3/\text{т}$ , при этом на размол и СМС тратится до  $50 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$  электроэнергии.

Термодинамические расчеты показали, что для обжига  $1 \text{ т}$  сидеритовой руды в шахтной печи требуется энергия в количестве  $1347 \text{ МДж}/\text{т}$ , а при сжигании топлива выделяется  $1463 \text{ МДж}/\text{т}$ . Избыток тепловой энергии  $\Delta q = 116 \text{ МДж}/\text{т}$ , что соответствует  $3,95 \text{ кг}$  у.т. на  $1 \text{ т}$  обжигаемой руды. Учитывая вышеизложенные затраты, можно заключить, что предприятие может более эффективно распределять энергетические ресурсы.

В этих условиях может быть поставлена задача разыскания альтернативного источника энергии с температурой не выше  $700^\circ\text{C}$  и возможностей сокращения потребления электроэнергии.

Анализ действующей схемы использования ПГ показывает, что температурный потенциал продуктов горения ПГ в интервале  $2000 \dots 700^\circ\text{C}$  не используется, что ведет к большим эксергетическим потерям. Используется лишь потенциал ниже  $700^\circ\text{C}$ , то есть только часть высококачественной энергии ПГ.

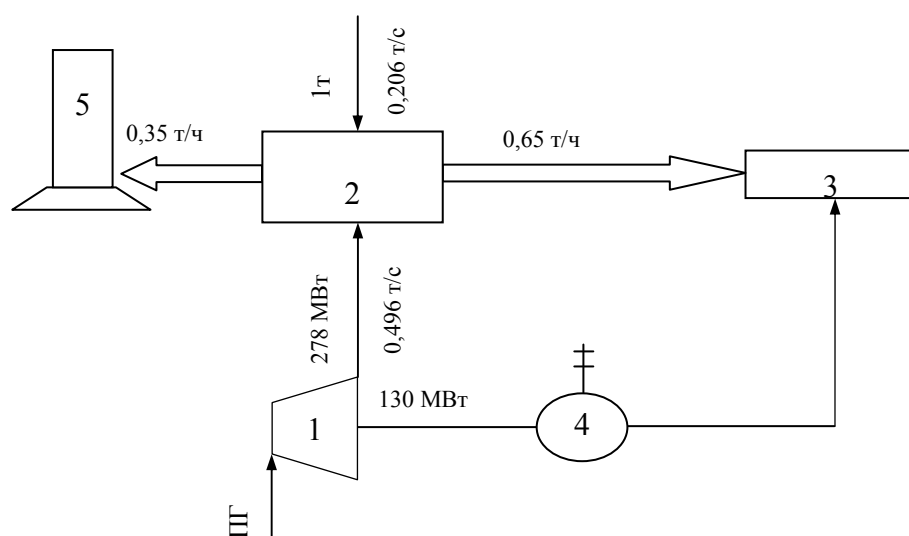


Схема энергообеспечения рудопереработки:  
1 – ГТУ; 2 – шахтная печь; 3 – размол и СМС;  
4 – электрогенератор; 5 – дымовая труба

Изучение способов генерации электрической энергии показывает, что паротурбинный и парогазовый циклы дают отходящие газы с температурой не выше точки росы (с запасом) примерно  $150^\circ\text{C}$ . Известно также, что газотурбинная генерация электроэнергии может осуществляться на природном газе с выдачей отходящих газов температурой  $500 \dots 600^\circ\text{C}$  [1]. Для повышения эффективности использования ПГ за ГТУ устанавливают, в частности, котел-утилизатор, который повышает КПД цикла в общеэнергетическом направлении.

Эти обстоятельства указывают на возможность применения газотурбинной генерации электроэнергии для эффективного энергообеспечения рудоперерабатывающего предприятия, так как ГТУ являются источником продуктов сгорания ПГ с температурой ниже 700 °С. Обжиг руды таким энергоносителем может использовать весь остаточный теплоперепад продуктов сгорания, что предельно повышает эффективность использования природного газа.

Кроме того, генерируемая электроэнергия может полностью закрыть собственное электропотребление предприятия с отказом от сетевой энергии и большим экономическим эффектом.

Чтобы оценить возможности данного проекта, был произведен оценочный расчет внедрения в энергетическую сеть ГТУ мощностью  $N_3=130$  МВт. Вдобавок к электрической энергии в ГТУ вырабатывается тепловая энергия  $N_T=278$  МВт.

При обжиге 1 т сидеритовой руды выделяется  $m_{yt}=0,35$  т газа  $CO_2$ , следовательно, обжигу подвергнется  $m_p=0,65$  т руды [2]. Объем сидерита, подаваемый на обжиг, равен  $G_c=0,206$  т/с, а на размол и СМС  $G_p=0,134$  т/с. Расход топлива при сгорании в печи  $V_{п}=37,6$  м<sup>3</sup>/т, в ГТУ  $V_{гту}=11,4$  м<sup>3</sup>/т.

Эффективное использование тепловых отходов только одной ГТУ-130 МВт при непрерывной работе позволяет переработать 4-5 млн т сидероплезитовой руды в год, то есть действующий производственный план.

Таким образом, установка ГТУ на рудоперерабатывающее предприятие целесообразна, при меньшем расходе топлива позволяет получать необходимую для обжига сырья тепловую энергию и электрическую энергию, требуемую для дальнейших энергетических нужд.

Не менее важным является то обстоятельство, что переработка сидероплезитовых руд на базе газотурбинной генерации при определенных условиях может превратиться из довольно крупного потребителя в крупного поставщика электроэнергии в региональную энергетическую систему.

Это может дать *интенсивный энергосберегающий эффект*, то есть одновременную экономию тепловой и электрической энергии с избытком последней.

#### *Библиографический список*

1. Ольховский Г.Г. Энергетические газотурбинные установки. М.: Энергоатомиздат, 1985. 298 с.
2. Теплофизические свойства веществ и материалов. М.: Изд-во стандартов, 1978. 135 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ГОТОВОГО ПРОКАТА**

*Захаров Р.В., Гордеева И.С., Матвеев С.В.  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
E-mail: zaharovrom@gmail.com*

Реальная производственная деятельность невозможна без использования конструкционных материалов. Анализ данных по их производству показывает, что наиболее активно используется металлургическая продукция – практически

половина из общего потребления всех материалов в мире. В структуре используемых видов металлов почти 90 % – это стальной прокат [1].

Стальной прокат после горячей прокатки охлаждается водой (около 10 т/т проката) от температуры 900 °С до 590 °С (температура смотки готового листа в рулон) и выделяет с каждой тонны около 20 МДж теплоты. Вся эта теплота на современном этапе теряется в окружающую среду.

Водяное охлаждение стали с температурой около 900 °С отличается крайней неэффективностью, так как вода испаряется еще до контакта с поверхностью. Между охлаждающей водой и поверхностью стального листа находится паровая пленка, которая обеспечивает интенсивность охлаждения около 1000 Вт/(м<sup>2</sup>·К) вместо 10 000 Вт/(м<sup>2</sup>·К) для воды. Это приводит к удлинению зоны охлаждения до 30–40 м и полной потере теплоты стального листа.

Кроме того, на натяжение полосы и смотки ее в рулон расходуется до 5 кВт·ч/т электроэнергии.

Замена воды на другой энергоноситель с температурой кипения выше 900 °С (температура стальной полосы) открывает возможность устранить паровую пленку, интенсифицировать теплоотдачу, сократить длину охлаждения и использовать охлаждение.

Известно решение по формированию тонкого стального листа между слоями жидкого теплоносителя [2] с возможной утилизацией теплоты жидкой стали и готового проката. Связь зоны кристаллизации стали с *зоной вторичного охлаждения (ЗВО)* после прокатки в этом решении осуществляется через теплоноситель, который циркулирует из одной зоны в другую. В качестве теплоносителя используется сплав С-13 (свинцово-висмутовый) с температурой кипения 1680 °С. Получаемый температурный потенциал теплоносителя до 1583 °С осложняет его использование из-за отсутствия стандартного оборудования.

В атомной промышленности существуют парогенераторы, входящие в состав атомных энергетических установок и работающие именно на сплаве С-13. Работа сплава организована в интервале температур 320...540 °С. Коэффициент теплоотдачи С-13 может достигать 60 000 Вт/(м<sup>2</sup>·К) [2], что в 6 раз выше коэффициента для воды и в 60 – паровой пленки.

Предлагается использовать ЗВО известного решения для охлаждения готового проката и организовать работу теплоносителя в температурной зоне, обоснованной современным уровнем техники (до 540 °С). Это мероприятие может позволить использовать теплоту готового проката для выработки электроэнергии на собственные нужды прокатного цеха.

В работе была произведена предварительная оценка длины ЗВО горячей прокатки по интенсивности внешнего и внутреннего теплообмена при разных толщинах стального листа и необходимое количество охлаждающего теплоносителя. Результаты сведены в таблицу.

Толщина пластины, м	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006
Длина ЗВО, м	3,336	4,159	4,34	4,353	4,353
Масса жидкого теплоносителя, кг	668,777	1251	1740	2182	2618
Объём жидкого теплоносителя, м <sup>3</sup>	0,065	0,121	0,168	0,211	0,253

Применение такого теплоносителя может позволить увеличить интенсивность охлаждения и длину ЗВО на порядок.

Предлагаемое решение может позволить, с каждой тонны охлажденного проката получить с учетом КПД паротурбинного цикла – 40 % около 2 кВт·ч электроэнергии и в значительной степени компенсировать затраты электроэнергии на собственные нужды, что дает энергосберегающий эффект.

*Библиографический список*

1. Щёлоков А.М. Роль промышленной энергетики в снижении затрат на продукцию // Энергетики и металлургии – настоящему и будущему России: материалы 3-й Всерос. Науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и специалистов / под общ. ред. Сеничкина.- Магнитогорск: МГТУ, 2003.С. 107-112.

2. Строгонов К.В., Картавцев С.В. Жидкая сталь: использование теплоты и скоростная разливка // Магнитогорск: МГТУ, 2006. 147 с.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ С БЕГУЩИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**

*Захаров Д.А., Родионов М.О., Коняев А.Ю, Назаров С.Л.  
УрФУ, konyaev@ustu.ru*

Устройства электродинамической сепарации в бегущем магнитном поле могут находить широкое применение при извлечении кусковых неферромагнитных металлов из твердых отходов производства и потребления, а также при сортировке лома цветных металлов на стадии подготовки его к металлургическому переделу [1]. Интерес к электродинамическим сепараторам обусловлен необходимостью решения задач ресурсосбережения (извлечение и переработка вторичных металлов) и охраны окружающей среды (утилизация твердых отходов).

Из электродинамических сепараторов, используемых в мировой и отечественной практике, наибольшей производительностью и универсальностью обладают сепараторы, в которых бегущее магнитное поле создается линейными индукторами с трехфазной обмоткой. Принцип работы электродинамических сепараторов подобен принципу работы линейных асинхронных двигателей. При этом роль вторичного элемента таких линейных индукционных машин (ЛИМ) выполняют извлекаемые из сепарируемых смесей проводящие предметы.

В то же время, электродинамические сепараторы, как электрические машины, имеют ряд своеобразных черт, отличающих их от обычных асинхронных двигателей. Прежде всего, это – повышенные воздушные зазоры, различная форма и малые размеры извлекаемых предметов - вторичных элементов (ВЭ). Эти особенности электродинамических сепараторов обуславливают значительно меньшие удельные усилия по сравнению с классическими асинхронными двигателями. По этой причине основной задачей проектирования электродинамических сепараторов становится обеспечение максимально возможного усилия извлечения.

На величину усилий извлечения таких сепараторов оказывают влияние три ряда факторов:

- определяемые свойствами извлекаемых частиц, – их геометрические размеры, удельный вес, электропроводность;
- определяемые техническими данными индуктора, – его шириной, полюсным делением, линейной токовой нагрузкой;
- определяемые способом перемещения сепарируемой смеси относительно индуктора, – с помощью горизонтального транспортера, наклонной плоскости и т.д.

Методики расчета и проектирования электродинамических сепараторов с учетом указанных факторов, разработанные на кафедре «Электротехника и электротехнологические системы», приведены в [2-4].

Влияние столь многих факторов характеристики сепараторов потребовали разработки соответствующих расчетных методик, а также оценки достоверности получаемых с их помощью результатов. С этой целью на кафедре ЭЭС были проведены экспериментальные исследования нескольких типов сепараторов (рис.1, 2).

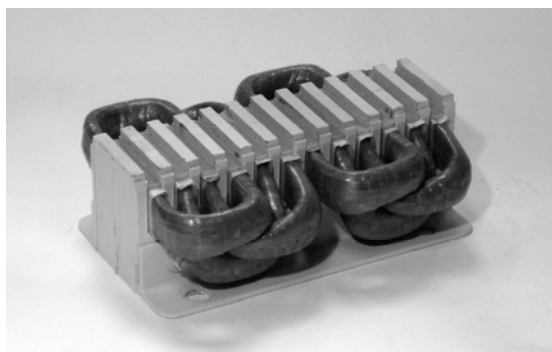


Рис. 1. Индуктор с однослойной обмоткой ( $2p=4$ )

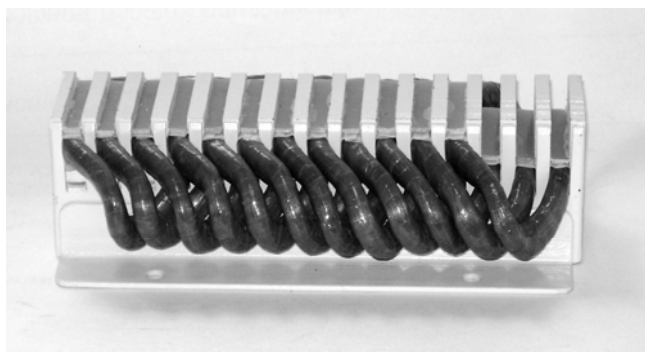


Рис. 2. Индуктор с двухслойной обмоткой ( $2p=5$ )

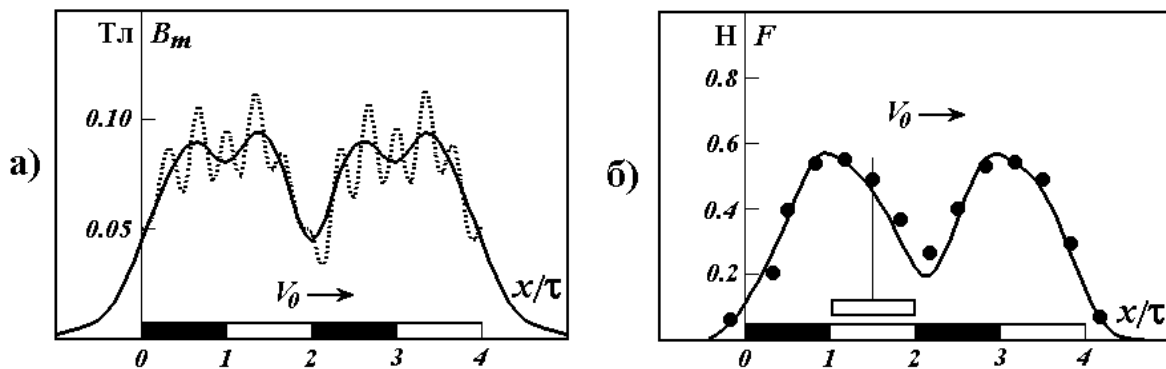


Рис. 3. Распределения индукции магнитного поля (а) и усилия извлечения (б) по длине индуктора сепаратора ( $2p=4$ )

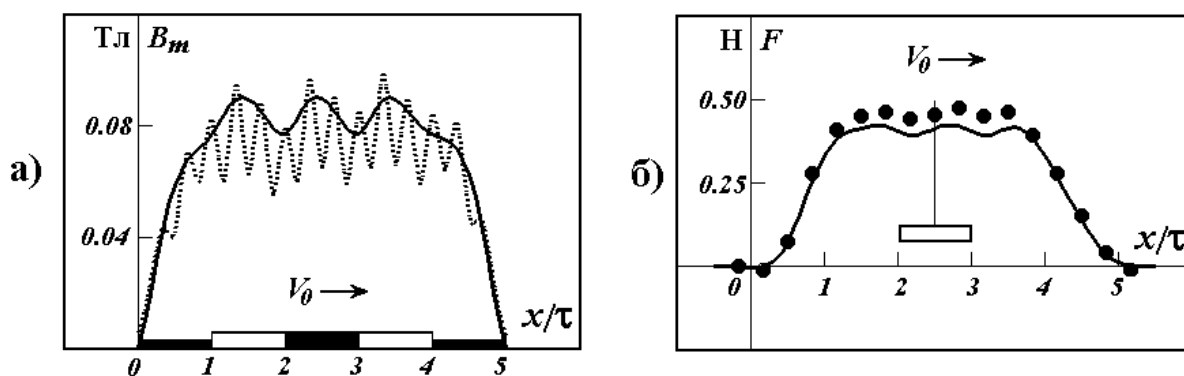


Рис. 4. Распределения индукции магнитного поля (а) и усилия извлечения (б) по длине индуктора сепаратора ( $2p=5$ )

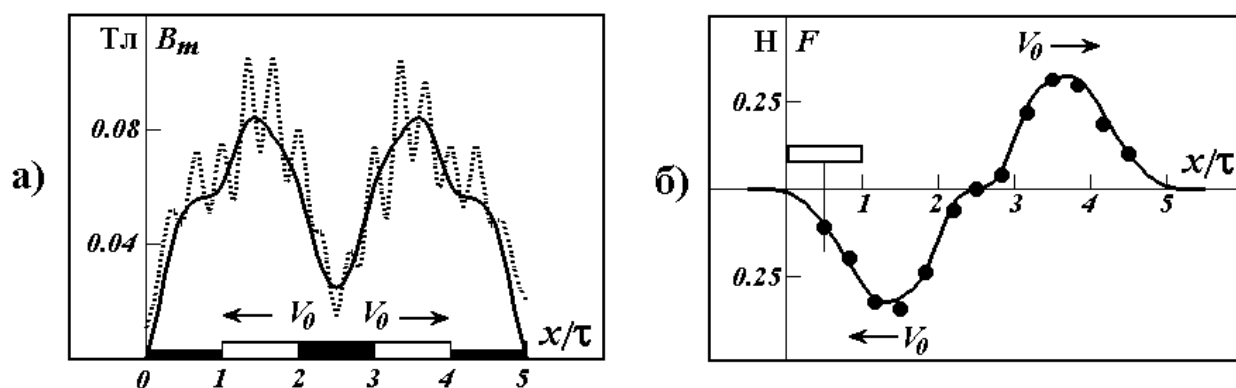


Рис. 5. Распределения индукции магнитного поля (а) и усилия извлечения (б) по длине индуктора сепаратора ( $2p=5$ )

Так, на рис. 3 а-б, представлены распределения индукции и усилия извлечения для четырехполюсного индуктора с однослойной обмоткой и однопольным движением поля. (сплошные линии расчет, пунктир или точки – эксперимент). На рис. 4 и 5 представлены подобные зависимости для пятиполюсного индуктора (рис. 4 – с однопольным магнитным полем, рис. 5 – с разбегающимися полями). Длина ВЭ составляла во всех случаях одно полюсное деление индуктора.

Как следует из приведенных графиков, расчетные кривые весьма близки к экспериментальным, что подтверждает достоверность принятой расчетной методики.

#### Библиографический список

1. Колобов Г.А., Бредихин В.Н., Чернобаев В.М. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов. М.: Металлургия, 1993. 288 с.
2. Коняев А.Ю., Назаров С.Л. Исследование характеристик электродинамических сепараторов на основе двумерной модели // Электротехника 1998. № 5. С. 52-58.
3. Коняев А.Ю., Назаров С.Л., Удинцев В.Н. Влияние первичного краевого эффекта на характеристики электродинамического сепаратора с бегущим магнитным полем // Вестник УГТУ: Вопросы совершенствования электротехнического оборудования и электротехнологий. Екатеринбург: УГТУ, 2000. С. 28-33.
4. Оценка характеристик линейных индукционных при ограничении размеров вторичного элемента / А.Ю.Коняев, И.А.Коняев, Н.Е.Маркин, С.Л.Назаров // Электричество. 2010. № 4. С. 32-36.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ ДИССОЦИИ АММИАКА С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

*Ивакина С.А., Иконников И.С., Дубинин А.М., Тупоногов В.Г.  
УрФУ, svetlana-ivakina@mail.ru*

На основании уравнений материального и теплового балансов агрегатов диссоциации аммиака проведена оптимизация параметров по максимальному выходу продуктов диссоциации аммиака при минимальной затрате электрической энергии, идущей на обогрев реторт с катализатором.

Агрегаты диссоциации аммиака используются в процессах очистки технического азота от кислорода при производстве защитных атмосфер. Аммиак поступает в агрегат в жидком виде и последовательно проходит предварительные стадии испарения в испарителе и нагрева продуктами диссоциации ( $H_2$  и  $N_2$ ) в теплообменнике-утилизаторе, после чего подается в реактор на диссоциацию. Реактор состоит из обогреваемых электричеством реторт, заполненных сферическим никелевым катализатором, сквозь который продувается газообразный аммиак.

Рабочий диапазон температур реактора находится в интервале 500...800 °С. С ростом температуры в реакторном пространстве за счет увеличения расхода электричества на обогрев реторт происходит ускорение реакции диссоциации аммиака, приводящее к повышению концентрации продуктов реакции на выходе из реактора, но при этом увеличиваются и затраты на нагрев газа. Таким образом, целью данной работы является определение оптимальной температуры реактора, при которой достигается минимальный удельный расход электроэнергии на его обогрев.

В качестве примера на рисунке приведены оптимизационные расчеты для агрегата диссоциации аммиака ДАЦ–150.

Построив зависимость удельного расхода электроэнергии  $\mathcal{E}$  от подводимой мощности  $Q_3$  графическим методом, находим их минимальные значения  $\mathcal{E}^{\min}$  и  $Q_3^{\min}$ . Там же нанесены экспериментально полученные значения  $\mathcal{E}$ , кВт·ч/м<sup>3</sup>, на трех производительностях для ДАЦ–150, удовлетворительно совпадающие с расчетными по модели. Поэтому моделью можно пользоваться для оптимизации параметров. Поскольку удельный расход электрической энергии для таких агрегатов может находиться в пределах 0,765...1 кВт·ч/м<sup>3</sup>, то экономия электрической энергии при производительности 300 м<sup>3</sup>/ч будет составлять 9,7 %, а подводимая мощность уменьшится со 190 кВт до 159 кВт на кубометр получаемых продуктов диссоциации. Устраняется перегрев продукта диссоциации на  $\Delta t = 240$  °С.

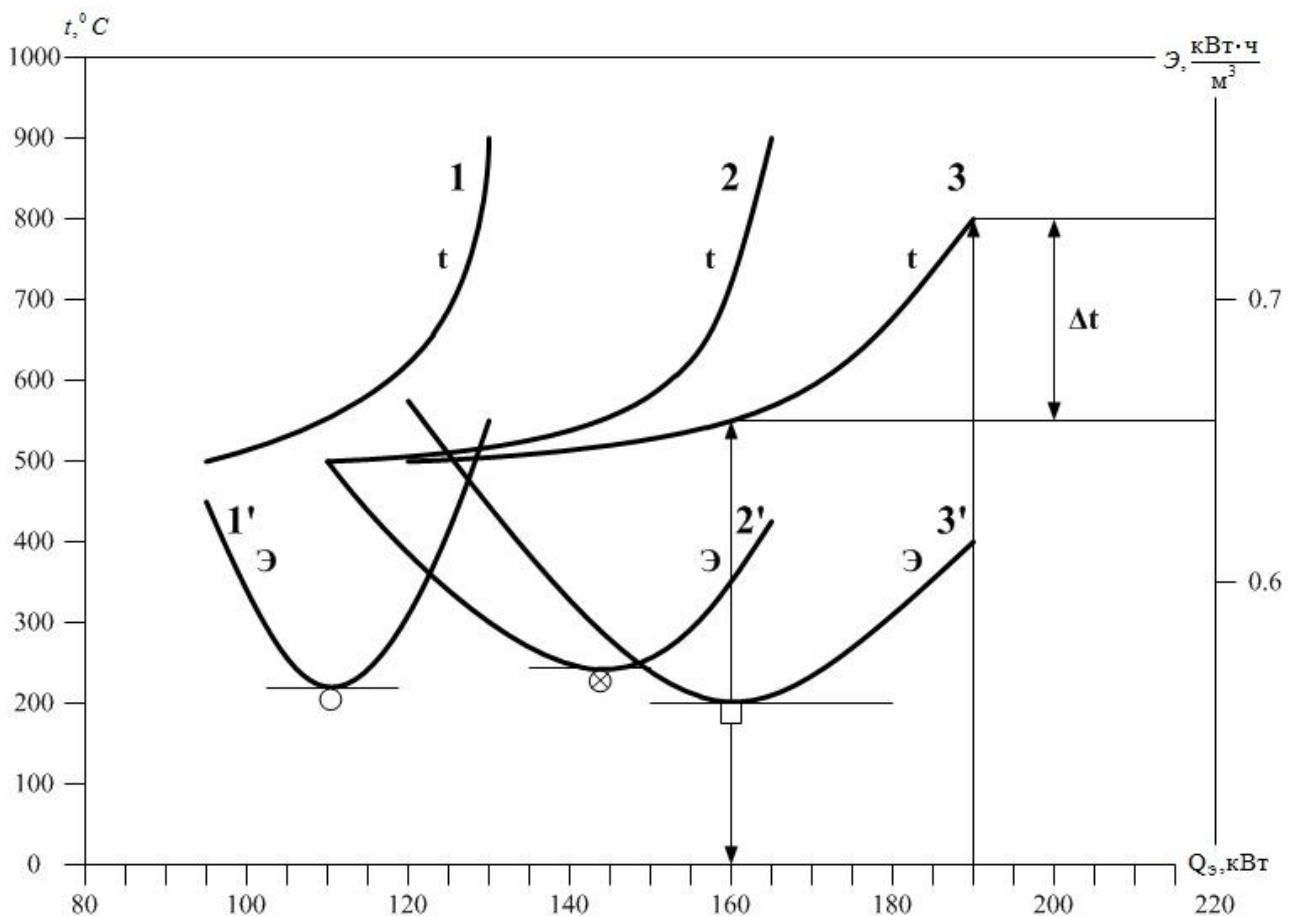
По фактически замеренной производительности аппарата  $G$  и концентрации аммиака на выходе  $r_A$  на основании разработанной модели определяют минимальное значение удельного расхода электрической энергии  $\mathcal{E}^{\min}$  и подводимой мощности  $Q_3^{\min}$ . Устанавливают такую же потребляемую на обогрев электрическую мощность по ваттметру. Экономия электроэнергии получается бла-



годаря устранению перегрева конечного продукта  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$  на определенное количество градусов  $\Delta t$ , которое находится из построения, представленного на рисунке.

Для практической реализации мероприятия по экономии электрической энергии составляется программа по разработанному алгоритму для персонального компьютера (ПК). В зависимости от расхода газообразного аммиака и его концентрации на выходе  $r_A$ , замеренным по штатным приборам, оператор устанавливает рассчитанную по данной программе электрическую мощность.

Разработанное мероприятие по экономии электрической энергии может быть использовано на машиностроительных заводах, где широко используется бедная водородом азотно-водородная смесь, получаемая из технического азота и продуктов диссоциации аммиака, в качестве защитной атмосферы в печах для отжига стали.



Зависимость балансовой температуры  $t, ^\circ\text{C}$  (1, 2, 3), удельного расхода электрической энергии  $\mathcal{E}, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ , ( $1', 2', 3'$ ) на диссоциацию аммиака  $\text{NH}_3$  от подводимой электрической мощности  $Q_3, \text{кВт}$ , поступающей на обогрев реактора:  $1, 1'$  – производительность реактора  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $\eta = 0,965$ ) аммиака;  $2, 2'$  –  $260 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $\eta = 0,97$ );  $3, 3'$  –  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ . ( $\eta = 0,98$ ). Экспериментальные данные: –  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $w^* = 1,42 \text{ м}/\text{с}$ ; –  $260 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;  $w^* = 1,85 \text{ м}/\text{с}$ ; –  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $w^* = 2 \text{ м}/\text{с}$ .

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОВЫХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ГОРОДА УЛЬЯНОВСКА

Ильин И.Н., Ртищева А.С.

Ульяновский государственный технический университет  
ilya\_420@mail.ru; al.rtisheva@mail.ru

Актуальность вопросов использования ветровых установок подтверждается опытом многих европейских стран. Однако важной остается проблема эффективности использования ветровых генераторов в условиях российских городов. Большой интерес представляет предварительный расчет вырабатываемой электроэнергии, выбор оптимального количества ветрогенераторов для стабильной работы. Решению этой проблемы и посвящена представляемая работа.

Существуют следующие типы ветроколеса: с горизонтальной и с вертикальной осью. Для стабильного производства электроэнергии ветровых генераторов (ветроколесо с горизонтальной осью) требуется скорость ветра, равная 4 м/с и выше. Для второго типа ветрогенераторов (ветроколесо с вертикальной осью) скорость ветра может быть ниже обозначенного значения [1, 2].

В современной энергетике ветровой генератор это:

- гарантированное обеспечение электроэнергией;
- высокая рентабельность;
- длительный период эксплуатации;
- автоматизация процессов;
- минимальное воздействие на окружающую среду.

На рис. 1 показано устройство ветрового генератора, а на рис. 2 приведена схема ветрового генератора с горизонтальной осью.

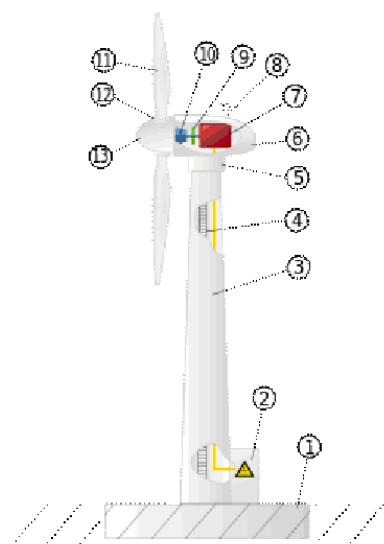
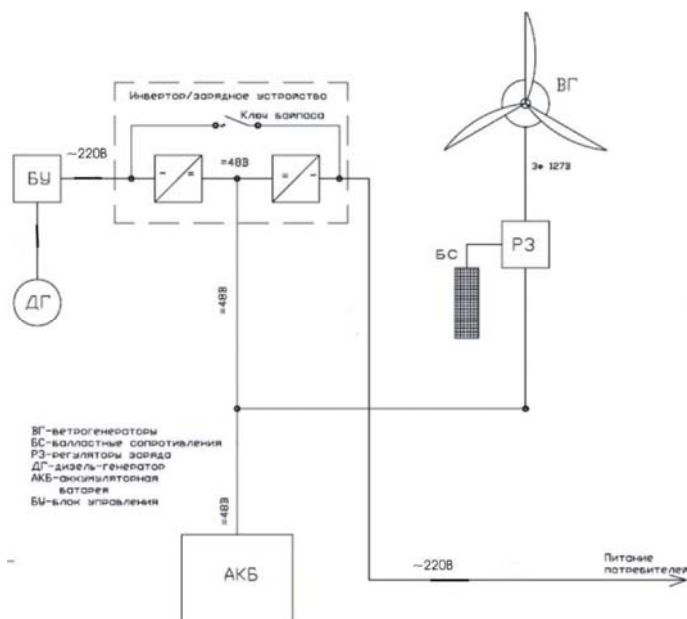


Рис. 2. Электрическая схема ветрового генератора

Рис. 1. Устройство ветрового генератора: 1 – фундамент; 2 – силовой шкаф; 3 – башня; 4 – лестница; 5 – поворотный механизм; 6 – гондола; 7 – электрический генератор; 8 – система слежения за направлением и скоростью ветра (анемометр); 9 – тормозная система; 10 – трансмиссия; 11 – лопасти; 12 – система изменения угла атаки лопасти; 13 – колпак ротора.



Мощность современных ветрогенераторов достигает 7,5 МВт. Важным вопросом является вопрос, касающийся мощности, которую может развить конкретный тип ветрогенератора, к примеру, в условиях г. Ульяновска. В рамках работы мощность будет рассчитана по формуле

$$N = \frac{\rho F u^3}{2}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха;  $F$  – ометаемая площадь;  $u$  – скорость ветра.

Для исследования будут использованы метеоданные по скорости и направлению ветра (рис. 3, 4).

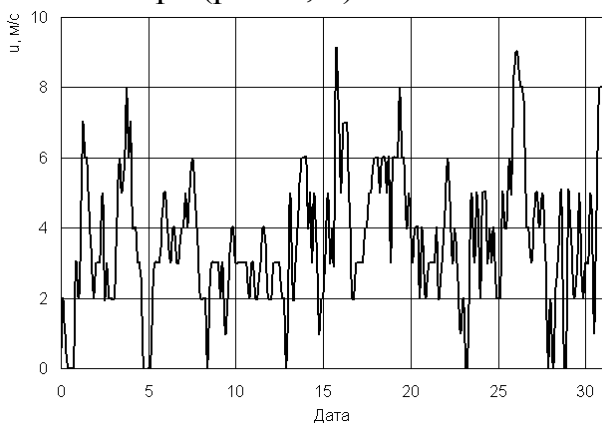


Рис. 3. Скорость ветра для г. Ульяновска (ноябрь)

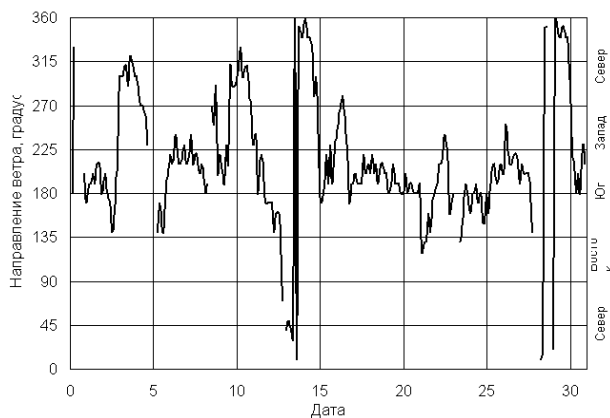


Рис. 4. Направление ветра для г. Ульяновска (ноябрь)

Также для проведения моделирования и численных исследований будет использован программный пакет *TRNSYS*.

#### *Библиографический список*

1. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр. М.: Энергоатомиздат, 1990. 392 с.
2. Ветровые генераторы / ЗАО «РосЭнергоИнжиниринг» [Электронный ресурс] URL: <http://www.ros-energy.ru/oborudovanie/wind.html>

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОПOTЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ**

*Кадура А.П., Мукула В.А.  
УРФУ, tes.urfu@mail.ru*

Потери в цикле ТЭС с теплотой, отводимой технической водой из конденсатора в окружающую среду, составляют 40...60 % от теплоты использованного на ТЭС топлива. Объем этой теплоты для большей части ТЭС в несколько раз превышает количество тепловой энергии отпускаемой потребителям, т.е. этот источник может быть перспективным для использования на нужды теплофикации. Однако температура технической (циркуляционной) воды после конденсатора, например, для Среднеуральской ГРЭС составляет 11...13 °С в течение отопительного сезона и 15...35 °С летом, т.е. теплота низко потенциальная и не может быть непосредственно использована для нужд теплофикации.

Перспективным техническим устройством, реализующим процесс переноса низкотемпературной теплоты на более высокотемпературный уровень, является тепловой насос. Тепловые насосы являются трансформаторами теплоты, в которых рабочие тела совершают обратный термодинамический цикл, перенося теплоту с низкого температурного уровня на более высокий.

Кроме непосредственной трансформации низко потенциальной теплоты, с помощью тепловых насосов можно решать ряд задач, актуальных для тепловых электрических станций:

- *Ограничение в летний период электрической мощности ТЭЦ, работающих на оборотной системе технического водоснабжения с использованием градирен.* Например, это актуально для Ново-Свердловской ТЭЦ, снабжающей теплом около 30 % потребителей тепловой энергии г. Екатеринбурга. В наиболее жаркое время года эффективное использование Ново-Свердловской ТЭЦ оказывается невозможным, конденсационные установки не могут охладить циркуляционную воду до требуемой температуры, давление в конденсаторе увеличивается, и максимальная мощность турбины ограничивается. Использование тепловых насосов позволит увеличить охлаждение циркуляционной воды летом и снять эту проблему.

- *Снижение затрат на возведение градирен и систем технического водоснабжения в целом при строительстве новых ТЭЦ.*

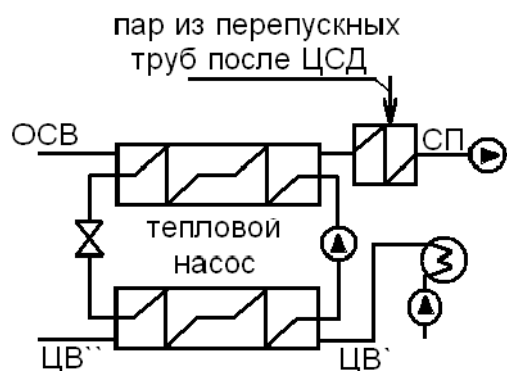
- *Увеличение производства электрической энергии на существующих ТЭЦ.* При замещении тепловой мощности теплофикационного отбора турбины тепловыми насосами увеличится производство электроэнергии, при этом удельные капитальные затраты на 1 кВт электрической мощности, производимой за счет использования тепловых насосов, могут быть в 2-3 раза ниже, чем при строительстве новых электрогенерирующих мощностей.

Анализ возможности использования тепловых насосов был проведен на примере Ново-Свердловской ТЭЦ, обеспечивающей ~30 % тепловой энергии г. Екатеринбурга. Здесь используется система оборотного охлаждения технической воды с градирнями.

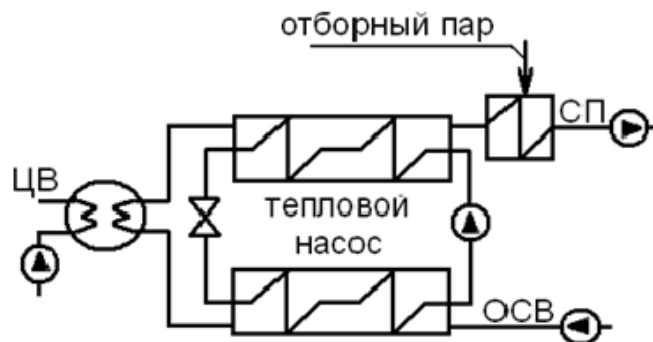
Критерием для оценки эффективности использования тепловых насосов, в первую очередь служила  $\Delta N = N_{\text{доп}} - N_{\text{эл}}$  – разница между дополнительной выработкой электрической энергии на турбине  $N_{\text{доп}}$  и электрической энергией, затрачиваемой на привод компрессора теплового насоса –  $N_{\text{эл}}$ .

Рассматривалось 3 варианта использования тепловых насосов:

1. Тепловой насос нагревает сетевую воду перед сетевым подогревателем, охлаждая циркуляционную воду после конденсаторов.

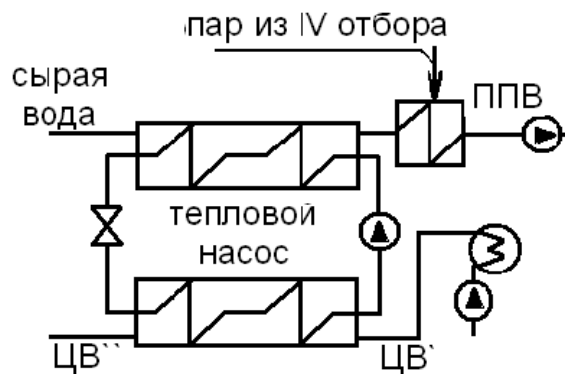


2. Сетевая вода нагревается паром в конденсаторе турбины, а тепловой насос охлаждает сетевую воду до конденсатора, передавая теплоту сетевой воде после конденсатора.



3. Тепловым насосом нагреваем сырую воду перед подогревателем подпиточной воды, охлаждая циркуляционную воду после конденсаторов.

Для расходов циркуляционной воды от 55 до 80 млн т/месяц произведен расчет  $K_{эфф}$  (коэффициент эффективности обращенного цикла Карно) для всех 3-х рассматриваемых вариантов. Расчеты показали, что величина  $\Delta N$  становится положительной ориентировочно при  $K_{эфф} > 6$ . Это условие было принято за критерий для отбора приемлемых вариантов.



Расчеты показали, что для теплового насоса мощностью от 2 до 70 МВт, подключенного по схеме варианта 3,  $\Delta N$  положительна 12 месяцев в году. При варианте 1  $\Delta N$  положительна при мощности теплового насоса около 2 МВт и только в летний период (с мая по август). При подключении теплового насоса по 2-му варианту процесс всегда не выгоден, так как требует затрат электроэнергии.

## РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Казакбаев В.М., Дмитриевский В.А., Прахт В.А., Климарев В.А., Сафин Н.Р.  
УрФУ, E-mail: emf2010@mail.ru

Проблема повышения энергоэффективности в настоящее время является для российской экономики одной из самых актуальных. Энергоемкость российской экономики превышает более чем в два раза уровень Канады, обладающей схожим климатом, и – в 2,5-3,5 уровень, достигнутый в развитых странах [1]. В европейских странах в настоящее время успешно применяется ряд мер, способствующих значительному снижению энергопотребления. Одной из таких мер является разработка МЭК стандартов энергоэффективности (например, IEC 60034-30, вводящий классы энергоэффективности асинхронных двигателей: IE1 (standard), IE2 (high), IE3 (premium)) и ввод в эксплуатацию промышленного оборудования, отвечающего этим стандартам. Для преодоления проблемы низкой энергоэффективности российская промышленность также должна находиться в русле этих тенденций.

Учитывая, что электродвигатели составляют значительную часть электропотребления в промышленности, создание отечественных серийных энергоэффективных двигателей становится одной из высокоприоритетных задач. Асинхронный двигатель (АД) был и остается основой большинства промышленных электроприводов (ЭП). В настоящее время конструкция АД доведена до совершенства: оптимизированы обмоточные данные, изоляционные материалы, источники питания [3]. Таким образом, оставаясь приемлемыми по стоимости, АД могут соответствовать лишь классу эффективности IE2. Дальнейшее увеличение КПД АД для достижения класса IE3 требует использования таких мер, как увеличение сечения провода обмотки статора, применение медной клетки ротора, применение стали магнитопровода с низкими потерями, удлинение машины, усложнение технологии производства. Все это ведет к чрезмерному удорожанию, особенно для машин с высотами оси вращения до 180 мм [2].

Альтернативой является применение двигателей, конструкции которых принципиально обеспечивают более высокие энергетические характеристики: различных типов синхронных двигателей с постоянными магнитами (ПМ), вентильно-индукторных двигателей и синхронных реактивных двигателей. Машины с постоянными магнитами (ПМ) на основе редкоземельных элементов обладают, как правило, наилучшими энергетическими и массогабаритными показателями. Однако они также обладают высокой стоимостью, связанной со стоимостью редкоземельных металлов [4]. Кроме того, машинам с ПМ присущи проблемы надежности и долговечности, связанные с возможностью размагничивания и механического повреждения относительно хрупких ПМ. Также при использовании ПМ имеются трудности с регулированием возбуждения, созданием взрывозащищенных исполнений и сложности в эксплуатации. Вентильно-индукторные машины не имеют постоянных магнитов, но требуют сложных алгоритмов управления и обладают значительными пульсациями момента.

В то же время с 60-х гг. XX века шло постоянное совершенствование классического синхронного реактивного двигателя (СРД) [5], ротор которого удерживается в точном синхронизме с полем индуктора (рис. 1а). Как известно, выражение для электромагнитного момента синхронной реактивной машины имеет вид [5]:

$$T_e = \frac{m}{2} \cdot p \left[ \left( 1 - \frac{L_q}{L_d} \right) L_d \cdot i_d \cdot i_q \right], \quad (1)$$

где  $m$  – число фаз машины,  $p$  – число пар полюсов машины,

$L_d, L_q$  – индуктивности статора по осям  $d$  и  $q$ ,  $i_d, i_q$  – токи статора по осям  $d$  и  $q$ .

Из (1) видно, что оптимальная конструкция ротора должна обеспечивать максимальное значение произведения  $(1 - L_q/L_d) \cdot L_d$ . Поскольку количественные значения индуктивностей могут существенно различаться в зависимости от мощности машины, то для оценки свойств ротора по созданию реактивного момента вводят относительные величины [6]:

$$k_d = \frac{L_d}{L_m}, k_q = \frac{L_q}{L_m}, k_{dq} = \left( 1 - \frac{L_q}{L_d} \right) \quad (2)$$

где  $L_m$  – индуктивность обмотки статора машины в случае изотропного цилиндрического ротора. Тогда критерий оптимальности формы ротора можно запи-

сать как  $k_{dq} \cdot k_d$ . Традиционные конструкции (рис. 2а) обеспечивают относительно невысокие значения этого произведения. Так, для явнополюсного ротора, описанного в [8],  $k_{dq} = 0,305$ ,  $k_d = 0,87$  и  $k_{dq} \cdot k_d = 0,6$ . Такие двигатели значительно уступают асинхронным в отношении КПД и  $\cos \varphi$ . К настоящему времени разработаны конструкции СРД значительно лучшие по свойствам. Так, для двигателя с радиально шихтованным ротором, описанного в [7],  $k_{dq} = 0,937$ ,  $k_d = 0,97$  и  $k_{dq} \cdot k_d = 0,91$ . Однако конструкции с радиальной шихтовкой ротора (рис. 2б) крайне нетехнологичны и дороги в производстве.

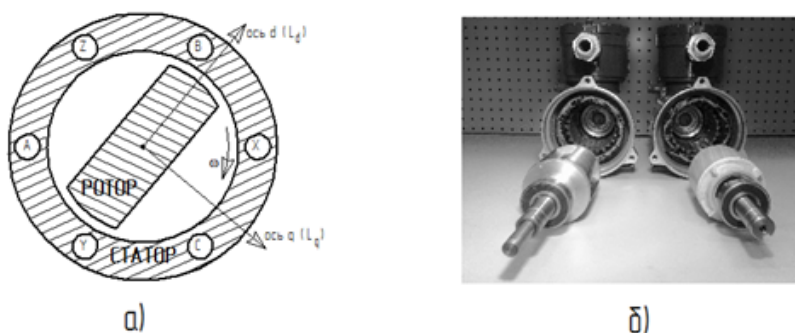


Рис. 1. а – устройство синхронного реактивного двигателя; б – серийный АД (справа) и опытный прототип СРД (слева), имеющие одинаковые статоры

Более приемлемой для крупносерийной машины является конструкция с магнитными барьерами (рис. 2в), которая собирается обычным способом набора пакета стальных листов на вал. В этом случае магнитная анизотропия ротора обеспечивается при штамповке листов созданием воздушных каналов, которые одновременно служат для вентиляции машины. Такая конструкция обладает несколько большей проводимостью по поперечной оси за счет наличия магнитных мостов и может обеспечивать несколько меньшие  $k_{dq}$ , чем конструкция (рис. 2б). Однако, СРД с таким ротором все равно способны достигнуть энергетических и массогабаритных характеристик, значительно превосходящих характеристики современных АД, отвечая при этом классу энергоэффективности IE3 [6].

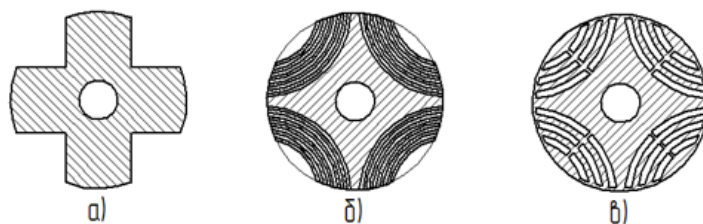


Рис. 2. Конструкции ротора СРД; а – традиционный явнополюсный, б – с радиальной шихтовкой, в – с магнитными барьерами

На кафедре ЭЭТС Уральского энергетического института УрФУ, совместно с ОАО «Сарапульский электрогенераторный завод», с апреля 2012 года ведется разработка и проектирование нового серийного синхронного реактивного двигателя. На Сарапульском электрогенераторном заводе был изготовлен прототип двигателя мощностью 0,5 кВт (рис. 1б).



В настоящее время осуществляется разработка и настройка системы управления СРМ, а также подготовка испытательного стенда для изучения машины в широком диапазоне статических и динамических режимов работы. В дальнейшем планируется продолжение опытно-конструкторских работ по совершенствованию СРМ для достижения высоких массогабаритных и энергетических показателей.

#### *Библиографический список*

1. Точки роста энергоэффективности и энергосбережения в России: Информационно-аналитический бюллетень № 3 / Ф.Ф. Глисин, А.С. Ильин, В.В. Прохоров. М.: Центр исследований и статистики науки (ЦИСН), 2012.
2. Международная научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XVI Бенардосовские чтения), Кобелев А.С., Макаров Л.Н. Выбор внешнего диаметра сердечника статора для энергоэффективных асинхронных двигателей: сб. материалов. Иваново, 2011. 66-70 с.
3. Григорьев М.А. Предельные возможности электроприводов с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения и с другими типами двигателей / М.А. Григорьев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2009. № 34 (167).
4. Dent, Peter C. Rare earth elements and permanent magnets // Journal of Applied Physics. 2012. Vol. 111, no. 7. P. 07A721 - 07A721-6.
5. Lipo T.A. Synchronous reluctance machines – a viable alternative for AC drive // Electric power components and Systems. 1991. Vol. 19, No. 6. P. 659-671.
6. Boglietti, A., Cavagnino, A., Pastorelli, M., Vagati, A. Experimental comparison of induction and synchronous reluctance motors performance // Conf. Rec. 40th IEEE IAS Annu. Meeting. Oct. 2005. Vol. 1. P. 474–479.
7. Boldea, I., Fu, Z., Nasar S. Performance Evaluation of Axially-Laminated Anisotropic (ALA) Rotor Reluctance Synchronous Motors // IEEE Transactions on Industry Applications. July/August, 1994. Vol. 30, no. 4. P. 977–985.
8. Lawrenson P.J. Two-speed operation of salient-pole reluctance machine // Proc. IEEE. December 1965. Vol. 112, no. 12.

## **ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

*Кондратьев С.П., Данилов Н.И.  
УрФУ, НП СРО «Союз «Энергоэффективность», [spk@npse.ru](mailto:spk@npse.ru)*

В России отдельными организациями осваивается очередной международный стандарт – это «Руководство по системам энергетического менеджмента (СЭнМ)» с целью:

- установить, документировать, поддерживать и улучшать свою СЭнМ;
- определить и документировать область применения и границы своей СЭнМ.

По предварительным итогам можно отметить, что при этом не учитываются в должной мере основные положения стандарта:

- использование метода энергетического анализа (ЭА) (или анализа энергопотребления);
- методология, используемая для ЭА, должна быть документирована (иначе, стандартизирована по ГОСТ Р 1.4-2004).



Обращается внимание на применение соответствующих национальных (региональных) стандартов, прил. Б, В в ISO 50001, которых у нас нет.

Таким образом, ISO 50001 указывает на необходимость применения единых процедур, используемых для определения *«условий сопоставимости результатов применения энергетической, да и технической политики»*.

Иначе говоря, в организациях при освоении ISO 50001 должны быть введены стандарты этой организации, где бы были определены методики энергетического анализа их хозяйственной деятельности. ISO 50001 обращает внимание на необходимость разработки *единых (корпоративных) методических схем ведения собственной энергетической политики*. Приведем определения термина «энергетический анализ». По ISO 50001 это выявление энергорезультативности организаций на основе данных и другой информации, позволяющей определить возможности для улучшения. Весьма не конкретное определение. Другие определения: ЭАХД – это измерение и обобщение влияния ресурсных (энергетических) факторов на результаты хозяйственной деятельности организаций путем обработки системы энергетических и энергоэкономических показателей и других источников информации с целью повышения энергетической эффективности.

ЭАХД состоит из набора схем ЭА, т. е. процессов исследования оборудования, объектов, технологий, посредством определения и отслеживания динамики их энергоэкономических показателей с целью прогнозирования возможных ситуаций и принятия управленческих решений. Например, в ряде стран принята схема сравнительного анализа энергоэффективности для малых и средних предприятий, центральным элементом которой является сайт в Интернете. Сравнение осуществляется на основе удельного энергопотребления компаний (например, в кВт·ч на кг продукции). Так в Норвегии в этом процессе участвуют 800 компаний, разбитых для целей сравнения на 43 группы. В РФ пока только в отдельных холдингах разрабатываются методики определения энергоемкости производственной деятельности (ММК, РЖД). Зачем нужны ресурсные (энергетические) показатели? Нет ничего более неустойчивого, чем финансовые измерители. Поэтому необходимо использование в экономической практике альтернативных бюджетов, кроме финансового бюджета. Определяющим здесь должен быть показатель ресурсной (энергетической) эффективности (ПРЭ), например, в соответствии с ГОСТ Р 54195-2010.

ПРЭ – это внутренний инвестиционный потенциал, без которого невозможно производственные (хозяйственные) мощности вывести на качественно новый технологический уровень. В мировой практике для этого широко и успешно используется энергосервисная система, где энергетические обследования обязательны. При этом другое обязательное условие эффективного управления подобной экономической системой – это снижение удельных показателей потребления ресурсов до того минимального уровня, который позволяет обеспечить требуемые условия ведения хозяйственной деятельности.

Кафедра «Энергосбережение» УрФУ провела ряд работ по обследованию предприятий машиностроения с использованием метода энергетического анализа. Ниже приведена диаграмма баланса использования ТЭР на одном из

предприятий. Доля ТЭР на общезаводские нужды, преобразования и потери составили  $49,6 + 6,5 + 1,9 + 3,8 + 1,5 + 4,5 = 68,1$  %. То есть, более 2/3 ТЭР тратится в процессе их перемещения по территории завода непосредственно к технологическому оборудованию. Основная составляющая баланса – отопление и вентиляция 45 %. Основным технологический ресурс – более 80 % – электроэнергия, т.е. самый дорогой энергоресурс. ЭА показывает следующие недостатки, характерные для старых машиностроительных заводов. Технологический цикл заводов разбит на множество производственных участков, подразделений.

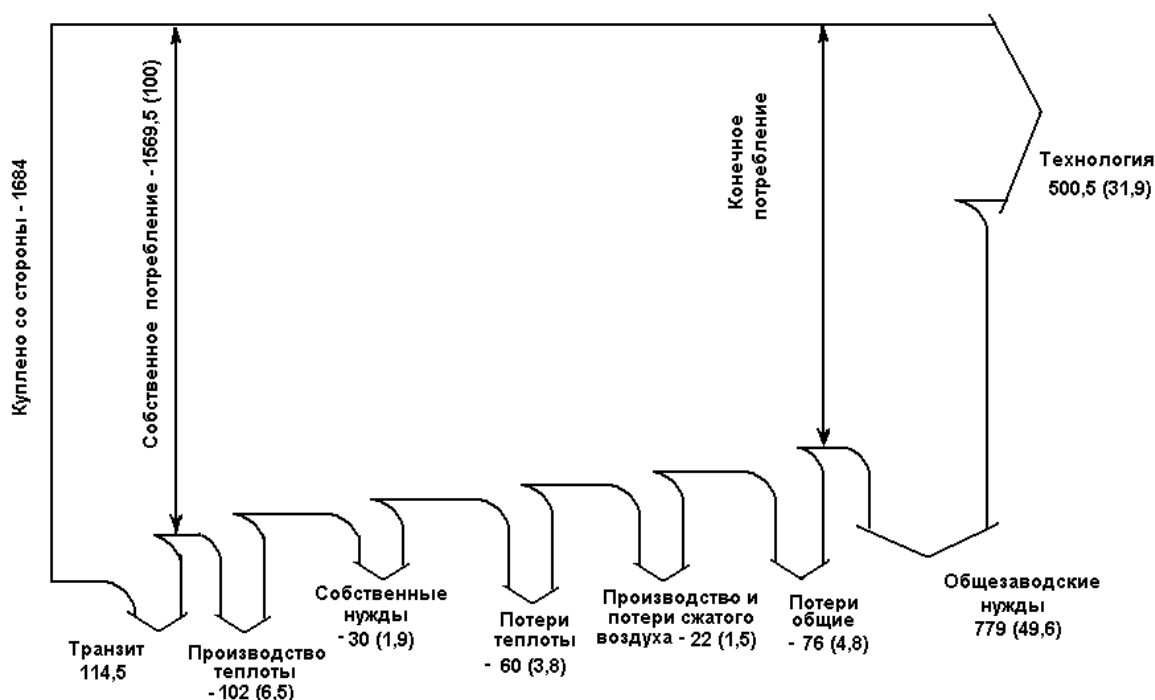


Диаграмма энергетического баланса предприятия, т у.т. (%)

Здесь, как правило, возникают проблемы при организации инструментального учета расхода энергоресурсов, при выборе номенклатуры и значений показателей энергоемкости. В результате нет возможности объективно сопоставлять в текущем формате темпы прироста энергоемкости и темпы прироста ТЭР, т. е. оперативно влиять на этот процесс. До 50 % ТЭР тратится на общезаводские нужды (отопление, вентиляция) по причине создания энергетических схем заводов в период «бесплатных» энергоресурсов и сохранение их до сих пор. Поэтому анализ состояния ограждающих конструкций зданий, систем теплоснабжения особенно актуальная задача. Использование «классического» эффективного оборудования для производства теплоты, сжатого воздуха не дает заметного роста энергоэффективности в целом по предприятию. В конечном итоге, непосредственно на технологию используется не более 20...25 % из использованных ТЭР. Машиностроительные предприятия должны создаваться по технологическим схемам использования ТЭР, принципиально отличающихся от существующих. Это – когенерация, повышение напряжения электроэнергии, переход на смешанные схемы энергоснабжения, использование однотипного

оборудования различной установленной мощности, снижение удельных отопительных характеристик производственных зданий, АСКУЭ и т.д.

## ДОСТОВЕРИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ КАК ЗАДАЧА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

*Кочнева Е.С., Паздерин А.В.*

*УрФУ, et-85@mail.ru*

В настоящее время в России задача энергоэффективности и энергосбережения чрезвычайно актуальна как на государственном уровне, так и для предприятий любой отрасли. Полная, достоверная и своевременная информация об энергопотреблении – это то, без чего невозможно заниматься задачами энергосбережения. Системы учета электроэнергии, внедряемые повсеместно, являются поставщиками измерительной информации. Важность налагаемых задач выдвигает требования к точности и к достоверности этих данных.

Измерения электроэнергии содержат ошибки. В общем виде измерение ЭЭ можно представить в виде суммы истинного, но неизвестного значения измеряемой величины  $W_i^{ист}$ , систематической составляющей погрешности  $\delta_{Wi}$  и случайной ошибки  $\sigma_{Wi}$ , которая имеет нулевое математическое ожидание и ненулевую дисперсию:

$$W_i^{изм} = W_i^{ист} + \delta_{Wi} + \sigma_{Wi}. \quad (1)$$

В практике эксплуатации энергосистем относительную погрешность ИКЭ определяют по формуле:

$$\delta_W = \pm 1,1 \sqrt{\delta_I^2 + \delta_U^2 + \delta_{CO}^2 + \delta_L^2}. \quad (2)$$

Реальная погрешность измерения ЭЭ может превышать допустимые границы, определяемые (2). В процессе функционирования объекта может возникнуть повреждение любого устройства, входящего в ИКЭ. Такие повреждения обычно сопровождаются ошибками измерений, имеющими систематический (устойчивый во времени) характер. Уровень такой ошибки может достигать десятков процентов. В теории оценивания состояния данные ошибки принято называть грубыми (плохими данными). Выявление и устранение грубых ошибок измерений должно производиться как можно более быстро, так как финансовые потери отдельных участников энергообмена могут быть очень велики.

Существует несколько принципиальных способов контроля точности и достоверности измерительной информации систем учета ЭЭ.

*Метрологический контроль и надзор за средствами учета электроэнергии* осуществляется органами Госстандарта России, метрологическими службами предприятий энергетики и РАО «ЕЭС России». В течение межповерочного интервала могут возникнуть повреждения любого звена измерительной системы, что может привести к увеличению погрешности измерения ЭЭ и, что очень опасно, к возникновению грубых ошибок. По этой причине не ослабевает внимание к разработке более доступных и менее дорогостоящих методов контроля

точности и достоверности информации от систем учета ЭЭ, которыми можно пользоваться с большей частотой в течение межповерочного интервала, осуществляя тем самым мониторинг метрологического состояния систем учета.

*Дублирование комплексов учета* является самым эффективным, но и самым дорогим способом достоверизации информационно-измерительной информации. Во всех точках коммерческого учета электроэнергии устанавливаются по два измерительных комплекса учета ЭЭ. Показания основного и контрольного ИКЭЭ сопоставляются в алгоритме АСКУЭ. Следует дополнительно отметить, что для основного и контрольного ИКЭЭ используются разные обмотки измерительных трансформаторов тока и напряжения.

Следующим можно перечислить *инженерный подход* к достоверизации данных. Достоверизация измерительной информации осуществляется в рамках алгоритма АСКУЭ в автоматическом режиме. Для каждого счетчика ЭЭ на этапе конфигурирования алгоритма верификации может быть выбрано сразу несколько критериев достоверности, которые будут использоваться для его проверки на часовых или на суточных интервалах времени. Критерии могут быть различными, например: показания счетчика за сутки по сравнению с почасовой суммой (разница по энергии), разница времени между часами АСКУЭ и счетчика, перезагрузка счетчика и другие. На основе совокупности выбранных критериев для отдельных счетчиков или для измерительных каналов производится проверка достоверности.

*Аналитические методы контроля достоверности* измерительной информации от систем учета электроэнергии являются наименее затратными. Они основаны на обработке измерений электроэнергии математическими методами.

Суть *балансового метода* заключается в сравнении значений фактического и допустимого небаланса электроэнергии для произвольного фрагмента электрической сети. Фактический небаланс электроэнергии вычисляется на основании показаний приборов учета как разность между поступившим на объект объемом электроэнергии и объемом электроэнергии, отпущенным с энергообъекта. Фактический небаланс электроэнергии определяется на основании данных от систем учета электроэнергии с месячной периодичностью. В случае, когда фактический небаланс электроэнергии не превышает допустимый небаланс, учет электроэнергии может быть признан достоверным.

Для достоверизации данных АСКУЭ могут использоваться *методы теории оценивания состояния*. В рамках теории оценивания состояния разработаны математические методы, позволяющие обнаружить факт наличия измерений с грубыми ошибками, выявить такие измерения и устранить их влияние на точность математической модели, описывающей объект. Методы обнаружения некорректных измерений можно разделить на три группы. Такое деление связано с местом данных алгоритмов по отношению к задаче оценки состояния.

К первой группе относятся *методы априорного анализа*, использующие топологические свойства уравнений состояния. Данные методы применяются до начала решения задачи оценки состояния и обычно позволяют разделить все измерения на «плохие», «хорошие», «подозрительные» и «непроверяемые». К этой группе методов относится достоверизация измерительной информации на

основе контрольных уравнений. Данный подход обладает более сильными свойствами по сравнению с типовой методикой сравнения фактических и допустимых небалансов электроэнергии. Это объясняется большим разнообразием в формировании вариантов контрольных уравнений и строгой формализованностью процедуры их получения. Основой метода является факт малой связности уравнений состояния, то есть измеренный параметр явно зависит лишь от небольшой части параметров режима.

Вторую группу образуют *методы поиска «плохих» данных*, используемые непосредственно в ходе решения задачи ОС. При этом квадратичная целевая функция задачи оценки состояния – взвешенная сумма квадратов ошибок измерений модифицируется так, чтобы снижалась чувствительность к большим ошибкам измерений. Данные методы коротко можно охарактеризовать как неквадратичные критерии.

Третья группа методов основана на анализе остатков оценивания, то есть разницы между измеренными и расчетными значениями измерений. Алгоритмы такого *апостериорного анализа* обладают достаточно высокой силой по выявлению плохих данных, но, как правило, требуют многократных повторных решений задачи, что существенно влияет на время решения. Существует ряд примеров, когда алгоритм апостериорного анализа выявляет плохие данные, неразличимые алгоритмом априорного анализа. Суммируя, апостериорный анализ, хотя и является более трудоемким, обладает более сильной разрешающей способностью.

Достоверизация полученных измерений является важным аспектом задачи энергосбережения.

Для контроля достоверности измерительной информации от систем учета ЭЭ недостаточно одних метрологических методов. Наименее затратными являются методы достоверизации, использующие математические подходы. Информационная избыточность систем учета электроэнергии является обязательным требованием контроля достоверности измерительной информации.

Методы выявления «плохих» данных, разработанные в теории оценки состояния, являются наиболее эффективными методами достоверизации информации, полученной от систем учета электроэнергии.

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ И ГАЗОПОРШНЕВЫХ УСТАНОВОК ПРИ РАБОТЕ В КОГЕНЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

*Крупин Д.Ф., Суворов Д.М.  
Вятский государственный университет, г. Киров  
e-mail: dmilar@mail.ru*

С развитием промышленности в России растет потребность в подключении новых мощностей. Широкое применение для решения данной задачи получают в последние годы когенерационные локальные системы энергоснабжения. Это связано, прежде всего, со сниженной себестоимостью получения тепла и

электроэнергии в данных установках. При использовании объектов малой энергетики, с учётом вложения необходимых капитальных затрат, в условиях достаточно быстрой их окупаемости и последующей прибыльности, на первое место встаёт вопрос энергоэффективности, т.е. КПД и коэффициента полезного использования теплоты (КПИТ) этих установок.

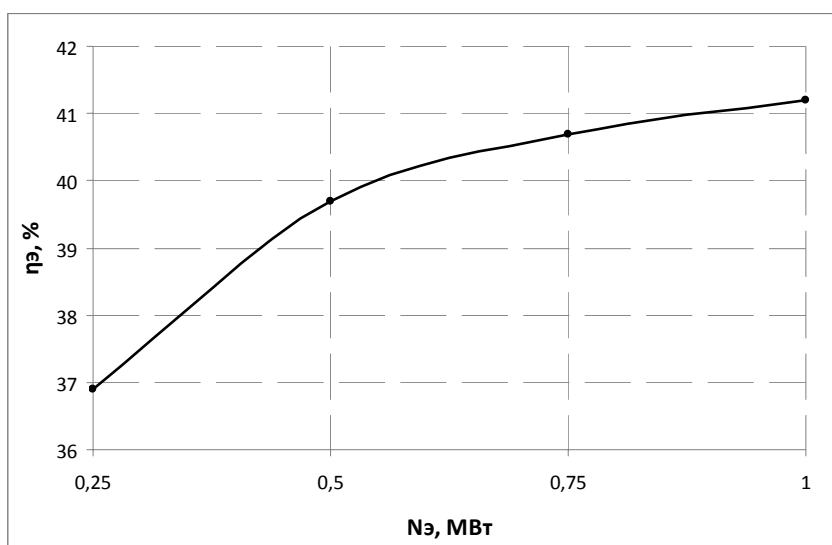
В данной работе проведен расчет работы газопоршневой установки при частичных нагрузках и сравнительная оценка энергетической эффективности использования микрогазотурбинных (МКТ) и газопоршневых (ГПА) установок для использования в когенерационных локальных системах энергоснабжения. К сравнению был принят блок микрогазотурбинных установок Capstone C200 с заявленным производителем коэффициентом полезного действия по выработке электроэнергии 33 % и КПИТ 74 % и газопоршневая установка Wilson PG1250B (41,2 % и 85,6 %, соответственно) при прочих равных граничных условиях. Сравнительный расчет осуществлялся по продолжительности стояния температур и для различного соотношения расчетной тепловой и максимальной электрической нагрузок в диапазоне 0,2...3,0.

Расчет блока микротурбинных установок осуществлялся по методике, приведенной в работе [1]. В ходе определения работы газопоршневой установки при частичных нагрузках производился полный тепловой расчет цикла газового ДВС с турбонаддувом. При этом были учтены условия согласованной работы компрессора и турбины при всех нагрузках

$$\begin{cases} N_{\dot{O}} = N_{\dot{E}} \\ G_{\dot{E}} = G_T \end{cases},$$

где  $N_{\dot{O}}$  – мощность турбины;  $N_K$  – мощность компрессора;  $G_{\dot{O}}$  – расход уходящих газов через турбину;  $G_{\dot{E}}$  – расход воздуха через компрессор.

Значения электрического КПД газопоршневой установки при частичных нагрузках, определенные по данным производителя, показаны на рисунке.



Значения электрического КПД газопоршневой установки при частичных нагрузках

В одном из вариантов сравнительного расчета микрогазотурбинных и газопоршневых установок были приняты следующие граничные условия:

1. Установки работают при номинальной элект-

рической нагрузке  $N_{э} = const = 1$  МВт;

2. Диапазон расчетных тепловых нагрузок  $Q_m = 0,2 - 3$  МВт;

3. Расчетная температура отопления  $t_{но} = -31$  °С.

Результаты сравнительного расчета для температуры наружного воздуха, равной  $t_{но} = -31\text{ }^{\circ}\text{C}$ , приведены в таблице. Сравнительный расчет для данного уровня мощностей показывает некоторое преимущество газопоршневых установок за счет большего значения КПИТ.

Из проведенных расчетов следует, что использование микротурбинных установок оправдано, когда их ключевые преимущества имеют принципиальное значение (там, где имеет место переменный характер нагрузки с периодическим ее падением до нулевых или близких к нулевым значениям, в местах, где критичен уровень шума, производимого установкой), в диапазоне мощностей до 250 кВт. Газопоршневые системы в диапазоне мощностей от 250 кВт до 6 МВт остаются рациональным и эффективным решением для большинства типовых систем автономного тепло- и электроснабжения.

Результаты сравнительного расчета микрогазотурбинных и газопоршневых установок для температуры наружного воздуха, равной  $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

для температуры наружного воздуха, равной 34 °С.

Тип установки	МКТ				ГПА			
Отношение нагрузок	0,2	0,5	1	3	0,2	0,5	1	3
Количество установок	5				1			
Электрическая нагрузка $N_э$ , МВт	1							
Тепловая нагрузка $Q_t$ , МВт	0,2	0,5	1	3	0,2	0,5	1	3
Тепловая мощность установки $Q_m$ , МВт	0,728				0,859			
Тепловая мощность пикового котла $Q_{пот}$ , МВт	0	0	0,272	2,272	0	0	0,141	2,141
Расход топлива $B$ , м <sup>3</sup> /с	0,067	0,067	0,074	0,127	0,065	0,065	0,069	0,122
Электрический КПД установки $\eta_э$ , %	40,2				41,2			
Тепловой КПД установки $\eta_m$ , %	8,7	20,4	29,3	29,3	8,2	20,6	35,4	35,4
КПИТ, равный $(\eta_э + \eta_m)$ , %	48,9	60,7	69,5	69,5	49,4	61,8	76,6	76,6

В докладе на конференции будут представлены также результаты других граничных условий для расчетных сравнений энергетической эффективности микрогазотурбинных и газопоршневых установок.

#### *Библиографический список*

1. Баев В.Р. (научный руководитель Д.М. Суворов). Сравнительная эффективность энергоснабжения локальных потребителей с применением ГТУ малой мощности и микрогазотурбинных установок // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: Труды XIV Международного студенческого научно-технического семинара: в 2-х томах. Томск, 24 – 27 апреля 2012 г. Томск: ТПУ, 2012. Т. 2. Теплоэнергетическое и гуманитарные направления. С. 160-163

# ГИБКИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЕНСИРОВАННЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Кузьмина Е.В., [kuzmina139@mail.ru](mailto:kuzmina139@mail.ru), Самохин П.А., [SamPeter@mail.ru](mailto:SamPeter@mail.ru)

Хохлов Ю.И., [URAH\\_44@mail.ru](mailto:URAH_44@mail.ru)

Южно-Уральский государственный университет

В современной электроэнергетике начинают широко использоваться гибкие линии электропередач переменного тока. В основе их построения лежит применение продольной компенсации индуктивного сопротивления и векторное управление напряжениями на входе и выходе линии. Значительный энергосберегающий эффект может быть достигнут при реализации принципов гибкого векторного управления в системах электроснабжения (СЭС) потребителей электрической энергии постоянного тока. С целью существенного снижения установленной мощности устройств продольной компенсации предлагается использовать компенсированные выпрямители (КВ) с пятой и седьмой гармониками тока в коммутирующих конденсаторах, а для осуществления векторного управления – автономные инверторы напряжения (АИН). При этом автономные инверторы входными выводами подключаются со стороны постоянного тока выпрямителей, а выходными – посредством входящего в состав АИН низкочастотного фильтра и согласующего трансформатора последовательно с сетевыми обмотками преобразовательных трансформаторов [1]. Принципиальная схема СЭС с одним КВ представлена на рис. 1.

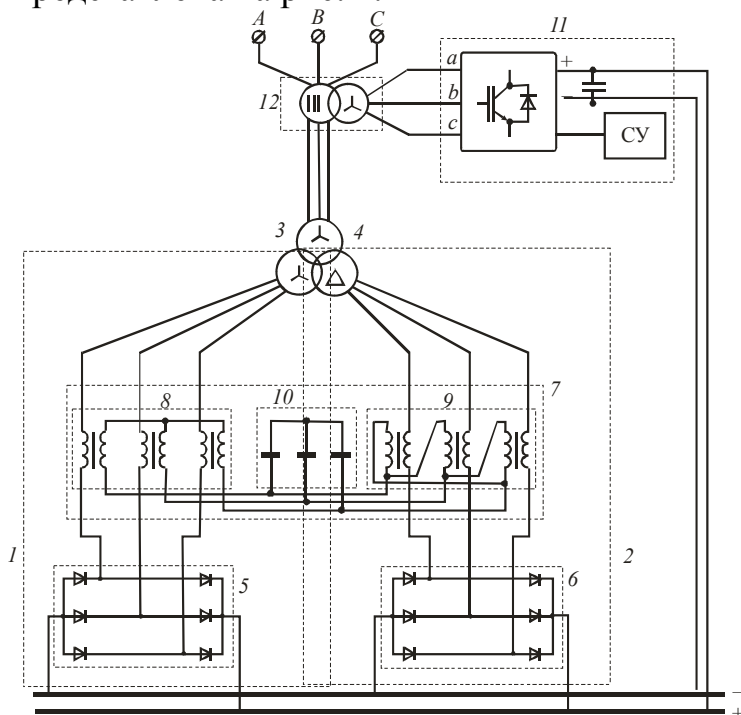


Рис. 1. Принципиальная схема двенадцатифазного выпрямительного агрегата с векторным управлением:

1 и 2 – шестифазные преобразовательные блоки КВ; 3 и 4 – вентильные обмотки преобразовательного трансформатора; 5 и 6 – выпрямительные мосты; 7 – компенсирующее устройство КВ; 8 и 9 – реакторы компенсирующего устройства; 10 – реакторы компенсирующего устройства; 11 – АИН; 12 – согласующий трансформатор



СЭС промышленных предприятий, как правило, состоят из ряда параллельно работающих выпрямительных агрегатов. При этом появляется возможность компенсации в СЭС не только реактивной мощности, но и мощности искажения [2]. На рис. 2 поясняется принцип векторного управления СЭС, содержащей два параллельно работающих двенадцатифазных выпрямительных агрегата. В двенадцатифазный режим работы система электроснабжения переходит при угле сдвига фаз между одноименными результирующими первичными фазными напряжениями одного выпрямительного агрегата относительно другого, равном нулю, а в двадцатичетырехфазный – при угле:

$$\frac{2\pi}{np} = \frac{2\pi}{2 \cdot 12} = \frac{\pi}{12},$$

где  $n$  – количество выпрямительных агрегатов;  $p$  – фазность выпрямительных агрегатов.

Амплитуды и начальные фазы управляющих напряжений изменяют так, что результирующие напряжения  $U_R$ , определяемые напряжением питающей сети  $U_S$  и управляющими напряжениями  $U_Y$ , изменяются только по амплитуде, сохраняя симметрию системы результирующих напряжений всех агрегатов при углах сдвига фаз между одноименными результирующими первичными фазными напряжениями одного выпрямительного агрегата относительно другого, равных  $\frac{2\pi}{np}$ .

Изменением результирующих первичных напряжений выпрямительных агрегатов на величину  $\Delta U$  обеспечивается пропорциональное плавное регулирование выпрямленного напряжения системы электроснабжения.

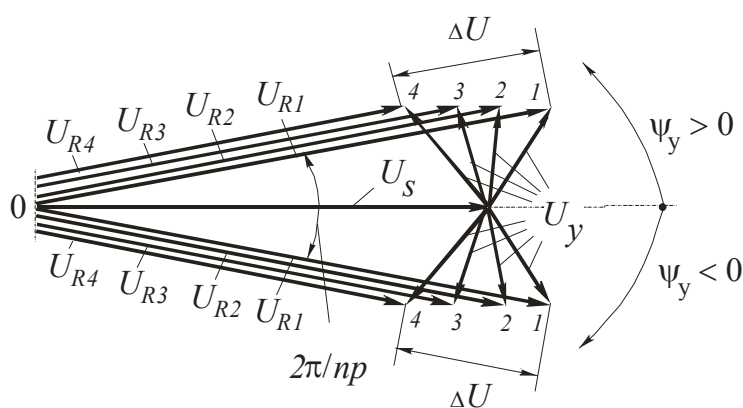


Рис. 2. Векторная диаграмма для первых гармоник напряжений:  
 $U_S$  – вектор напряжения питающей сети;  $U_Y$  – векторы напряжений управления, создаваемые АИН;  $U_R$  – векторы результирующих напряжений на входе СЭС

На рис. 3 и 4 представлены результаты моделирования системы электропитания при ее работе в двенадцатифазном и двадцатичетырехфазном режимах соответственно в программе MATLAB. Из рис. 4 видно, что системы электропитания сохраняют требуемый угол сдвига фаз, что обеспечивает повышение фазности преобразования системы, а, следовательно, и снижение ее гармонического воздействия на питающую сеть.

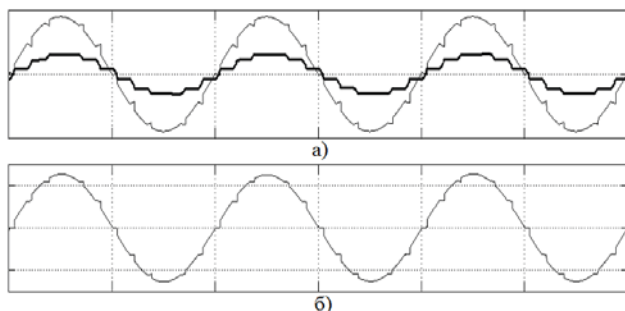


Рис. 3. Результаты моделирования системы электропитания при ее работе в двенадцатифазном режиме:  
а) – спектр напряжения и тока сети;  
б) – спектр результирующих фазных напряжения и тока

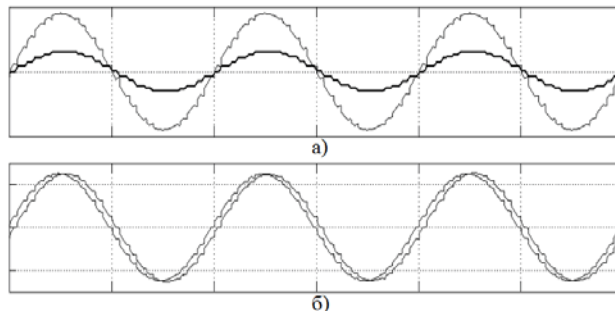


Рис. 4. Результаты моделирования системы электропитания при ее работе в двадцатичетырехфазном режиме:  
а) – спектр напряжения и тока сети;  
б) – спектр результирующих фазных напряжения и тока

#### *Выводы:*

1. Применение гибких СЭС на основе компенсированных выпрямителей позволило решить вопрос регулирования, компенсации и повышения качества электрической энергии, а при необходимости рекуперировать избыточную энергию из сети постоянного тока в сеть переменного тока, например, энергию торможения электрического транспорта.

2. В силу применения высоких частот (250 Гц) значительно снижается установленная мощность и габариты компенсирующего устройства системы электропитания, а также потери электрической энергии в нем.

3. Данный способ обеспечивает существенное снижение гармонического воздействия СЭС на питающую сеть и потребитель постоянного тока.

4. Предлагаемый способ обеспечивает оптимизацию работы СЭС по потреблению реактивной мощности, что снижает потери электрической энергии в питающей сети.

#### *Библиографический список*

1. Способ управления многофазным выпрямительным агрегатом: пат. 2333589 Рос. Федерация. № 2007109991/09; заявл. 19.03.07; опубл. 10.09.08, Бюл. № 25. 12 с.
2. Способ управления многофазной системой электропитания потребителей постоянного тока: пат. 2410830 Рос. Федерация. № 2009132383/07; заявл. 20.08.09; опубл. 27.01.2011, Бюл. № 3. 12 с.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ В ЛЕГКИХ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ БЕТОНАХ**

*Лазуткин А.В., Беляков В.А., Носков А.С.  
УрФУ, laz-andr888@mail.ru*

Железобетон – основной материал современного строительства, кроме того, все шире он применяется в машиностроении, судостроении и других областях промышленности. Несмотря на то, что железобетон существует более века, он продолжает оставаться объектом дальнейших исследований, направленных на улучшение его эксплуатационных качеств, так как наряду с неоспоримыми достоинствами по сравнению с другими конструкционными материалами имеет ряд недостатков. Прежде всего, это: невозможность эксплуатации в сильно агрессивных средах, где трудно обеспечить стойкость стальной арматуры; на мостах и виадуках ввиду коррозии стальной арматуры, вызванной действием хлорид-ионов, образующихся при применении солей для удаления льда, происходит быстрое старение несущих конструкций; большой вес и громоздкость традиционных железобетонных изделий; низкие электроизоляционные свойства традиционных цементных бетонов; наконец, надо учитывать ограниченность запаса руд, пригодных для удовлетворения непрерывно растущих потребностей в стали, и всегда дефицитных легирующих присадок. Применение для изготовления арматуры материала, не имеющего этих недостатков, – несомненно актуальная задача, решение которой позволит значительно снизить ресурсопотребление и увеличить срок службы сооружений. В качестве несущей основы, разработанной авторами [1] высокопрочной неметаллической арматуры, было сначала принято непрерывное щелочестойкое стеклянное волокно диаметром 10-15 микрон, пучок которого объединялся в монолитный стержень посредством синтетических смол (эпоксидной, эпоксифенольной, полиэфирной и др.). В СССР была разработана непрерывная технология изготовления такой арматуры диаметром 6 мм из щелочестойкого стекловолокна малоциркониевого состава марки Щ-15 ЖТ, подробно исследованы ее физико-механические свойства, в результате чего была получена стеклопластиковая арматура со следующими показателями: временное сопротивление разрыву до 1500 МПа, начальный модуль упругости 50 000 МПа, плотность 1,8-2 т/м<sup>3</sup> при массовом содержании стекловолокна 80 %, рабочая диаграмма при растяжении прямолинейна вплоть до разрыва, предельные деформации к этому моменту достигают 2,5-3 %, долговременная прочность арматуры в нормальных температурно-влажностных условиях составляет 65 % от временного сопротивления, коэффициент линейного расширения 5,5-6,5·10<sup>-6</sup>. К сожалению, заводского производства стеклопластиковой арматуры в то время организовать не удалось.

На строительном рынке непрерывно растет спрос на неметаллическую арматуру для специфических передовых технологий. Перспективными областями применения электроизолирующей арматуры является использование ее в зданиях, где размещается медицинское оборудование магнитной резонансной томографии. Арматура из немагнитных материалов стала стандартом для кон-

струкций такого типа в Японии. Китай стал крупнейшим потребителем композитной арматуры TILCO, используя ее в новых конструкциях, начиная от мостовых настилов до проведения подземных работ. В последние годы научные исследования в области неметаллической арматуры за рубежом значительно продвинулись. Такую арматуру стали использовать в различных сооружениях. Получили применение углеродное и арамидное волокна с более высокими механическими свойствами, наиболее высокими свойствами обладает углепластиковая арматура, однако стоимость ее слишком высока, расширен сортамент арматуры за счет витых канатов, возведено более десятка автодорожных и пешеходных мостов с различными пролетами. В России научные и производственные организации освоили производство неметаллических композитных элементов гибких связей. В основном производятся стеклопластиковые гибкие связи и анкерные стержни. Однако к арматуре бетонных конструкций, в отличие от гибких связей, предъявляются особые требования, касающиеся длительной прочности, сцепления с бетоном, модуля упругости и т.д.

Многочисленные публикации о неметаллической арматуре в мировой научной литературе подтверждают перспективность этого материала и необходимость интенсификации исследований в этой области, что позволит обеспечить антимагнитные и диэлектрические свойства изделий и сооружений на основе легкого бетона, конструкций из лёгких бетонов (ячеистых бетонов, арболита и др.), а также в фундаментах, сваях, электролизных ваннах, балках и ригелях эстакад, опорных конструкциях конденсаторных батарей, плитах крепления откосов и других конструкциях. Для расширения областей применения композитной неметаллической арматуры и детального изучения ее совместной работы с бетоном целесообразно продолжить исследования и провести испытания конструкций различного назначения.

#### *Библиографический список*

1. Прогнозирование длительной прочности стеклопластиковой арматуры / А.Н. Блазнов, Ю.П. Волков, А.Н. Луговой, В.Ф. Савин // ИПРИМ РАН Механика композиционных материалов и конструкций. 2003. Т. 9. № 4. С. 579-592.

## **ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ТЭЦ**

*Леготина А.И.*

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

*legotinaa@mail.ru*

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) – разновидность тепловой электростанции, которая производит не только электроэнергию, но и является источником тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения (в виде пара и горячей воды, в том числе для обеспечения горячего водоснабжения и отопления жилых и промышленных объектов).

ТЭЦ конструктивно устроена как конденсационная электростанция (КЭС). Главное отличие ТЭЦ от КЭС состоит в возможности отобрать часть тепловой энергии пара на нужды системы теплоснабжения после того, как он выработает электрическую энергию. На ТЭЦ есть возможность перекрывать

тепловые отборы пара, в этом случае ТЭЦ становится обычной КЭС. Это дает возможность работать ТЭЦ по двум графикам нагрузки:

- тепловому – электрическая нагрузка жестко зависит от тепловой нагрузки (тепловая нагрузка – приоритет);
- электрическому – электрическая нагрузка не зависит от тепловой, либо тепловая нагрузка вовсе отсутствует (приоритет – электрическая нагрузка).

Совмещение функций генерации тепла и электроэнергии (теплофикация) является один из самых главных преимуществ ТЭЦ, ведь оставшееся тепло, которое не участвует в работе электроцентрали, используется в отоплении. Это дает в целом больший КПД ТЭЦ (80 %), чем у КЭС (30 %).

Еще одним важным преимуществом ТЭЦ является ее работа на различных видах топлива в отличие от АЭС и ГЭС. Вследствие этого возможно относительно свободное территориальное размещение, связанное с широким распространением топливных ресурсов. Способность (в отличие от ГЭС) вырабатывать электроэнергию без сезонных колебаний мощности.

ТЭЦ быстро строится, и строительство обходится намного дешевле, чем ГЭС и АЭС. К тому же возведение, например, АЭС, таит в себе большой разрушительный потенциал: крупная авария способна вывести из хозяйственного использования тысячи километров территории (Чернобыль, Фукусима), а постройка ГЭС занимает длительное время (15–20 лет) и сопровождается затоплением огромных площадей плодородных земель. А плюсом является тот факт, что площади отчуждения и вывода из хозяйственного оборота земли под сооружение и эксплуатацию ТЭЦ, как правило, значительно меньше, чем это необходимо для АЭС и тем более для ГЭС.

Несмотря на неоспоримые преимущества электроцентрали в добыче энергии, все же существует целый ряд серьезных проблем и недостатков, требующих внимательного изучения и решения.

1. Для эксплуатации ТЭЦ обычно требуется гораздо больший персонал, чем для ГЭС и АЭС сопоставимой мощности, связанной с обслуживанием очень масштабного по объему топливного цикла.

2. Работают на невозобновляемых ресурсах, а также в некоторых случаях зависят от поставки топлива.

3. Режим работы меняется медленно (для выхода котла на рабочую мощность необходимо 72 часа).

Но главным и наиболее серьезным недостатком ТЭЦ является оказание значительного негативного воздействия на состояние всех элементов окружающей природной среды. Это, прежде всего, химическое загрязнение, связанное со значительными выбросами в атмосферу загрязнителей (самые чистые – ТЭЦ, работающие на природном газе). В процессе сжигания топлива минеральные примеси и несгоревшие органические остатки переходят в поток газов во взвешенном состоянии и загрязняют атмосферу, оказывают вредное воздействие на живые организмы, увеличивают износ механизмов, вызывают

коррозию металлов, разрушают строительные конструкции зданий и сооружений. Основными загрязнителями являются: оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ), оксиды серы ( $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ ), оксиды углерода ( $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ ), зола, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).

Воздействия ТЭЦ на окружающую среду можно разделить на:

1) физические воздействия, включающие в себя: акустическое воздействие, электромагнитное воздействие, радиационное, тепловое загрязнение;

2) непосредственные воздействия, связанные с привнесением или изъятием из природной среды отдельных компонентов (химическое загрязнение, выбросы вредных веществ);

3) косвенные воздействия, включающие в себя: гравитационное осаждение твердых частиц и аэрозолей, химические реакции вредных веществ, выброшенных в атмосферу и гидросферу, воздействие на почву, вымывание из атмосферы  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  с образованием кислотных осадков, изменение гидрологического и гидрохимического режимов грунтовых вод, изменение инсоляции в зоне рассеивания дымового факела и в зоне паров от градирни.

Основными последствиями данных воздействий являются: причинение вреда здоровью населения; изменение состава природной среды; изменение растительного покрова, климата; состояние недр, ландшафта и условий природопользования.

Тем не менее, хорошо отработанные технологии строительства, оборудования и эксплуатации ТЭЦ, а также относительная дешевизна их сооружения приводят к тому, что доля ТЭЦ в мировых энергобалансах в целом повышается, причем эксперты считают, что такая тенденция в обозримом будущем сохранится. По указанной причине совершенствованию технологий ТЭЦ и снижению влияния их недостатков во всем мире уделяется большое внимание.

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТА ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО СЕКТОРА Г. ГАТЧИНЫ**

*Лукина Ю.Н.,  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
lukina-y@mail.ru*

Энергетические исследования проводились в целях:

- оценки эффективности использования предприятием коммунального комплекса топливно-энергетических ресурсов (ТЭР);
- составления топливно-энергетического баланса предприятия;
- разработки мероприятий по повышению эффективности использования ТЭР;
- разработки обосновывающих материалов, представляемых собственником предприятия в Комитет по тарифам и ценовой политике Ленинградской области (ЛенРТК), для утверждения предприятию нормативов удельных

расходов условного топлива на выработанную тепловую энергию, запасов топлива и технологических потерь при передаче тепловой энергии.

За базовый период при обследовании принят 2011 год.

Текущий период – 2012 год.

Период регулирования – 2013 год.

Объектами обследования являлись котельная, расположенная в г. Гатчина Ленинградской области, и тепловые сети предприятия, по которым осуществляется передача тепловой энергии потребителям.

Экспертиза включала следующие работы:

- сбор, анализ и обобщение статистических данных учета потребления топливно-энергетических ресурсов, выработки тепловой энергии, нагрузки и режимов работы оборудования по месяцам за базовый период, плановых помесечных показателей на утвержденный период;

- изучение проектной и эксплуатационной документации энергоснабжающей организации.

Основными видами производственной деятельности общества в 2011 году были:

- производство ж/б конструкций – 8819 м<sup>3</sup> (91,1 % выручки);
- производство металлических конструкций – 65 т (3,1 % выручки);
- производство пара и горячей воды котельной – 40,6 тыс. Гкал (5,8 % выручки).

Динамика потребления топлива котельной предприятия в 2011 году показана в виде диаграммы на рис. 1.

Анализ динамики потребления топлива в котельной по месяцам базового периода (2011 г., рис. 1) показывает, что интенсивность потребления топлива зависела от нагрузки отопления. Как видно из представленных данных, годовое потребление условного топлива котельной составило в 2011 г. – 6339,1 т у. т.

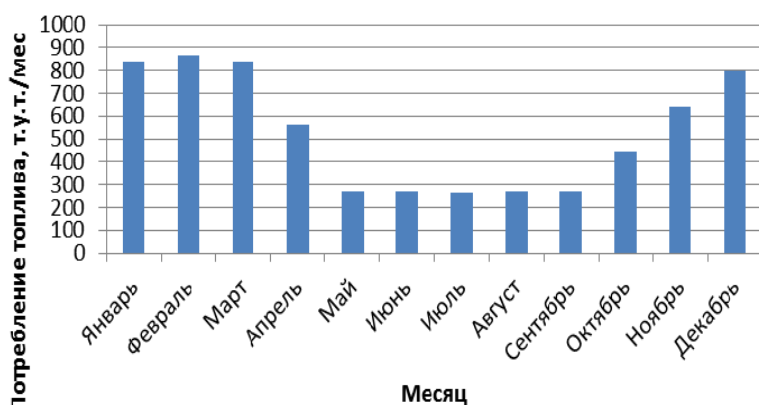


Рис. 1. Потребление топлива в 2011 году

Максимальный месячный расход топлива в котельной отмечен в феврале 2011 г. – 866,4 т у. т., минимальный в июле – 267,2 т у. т. С мая по сентябрь 2011 г. – отпуск

тепловой энергии осуществлялся в основном только на нужды ГВС и на технологию.

Сезонные изменения нагрузок котельной в 2011 г. иллюстрирует рис. 2, где представлен помесечный отпуск тепловой энергии от котельной различным категориям абонентов.

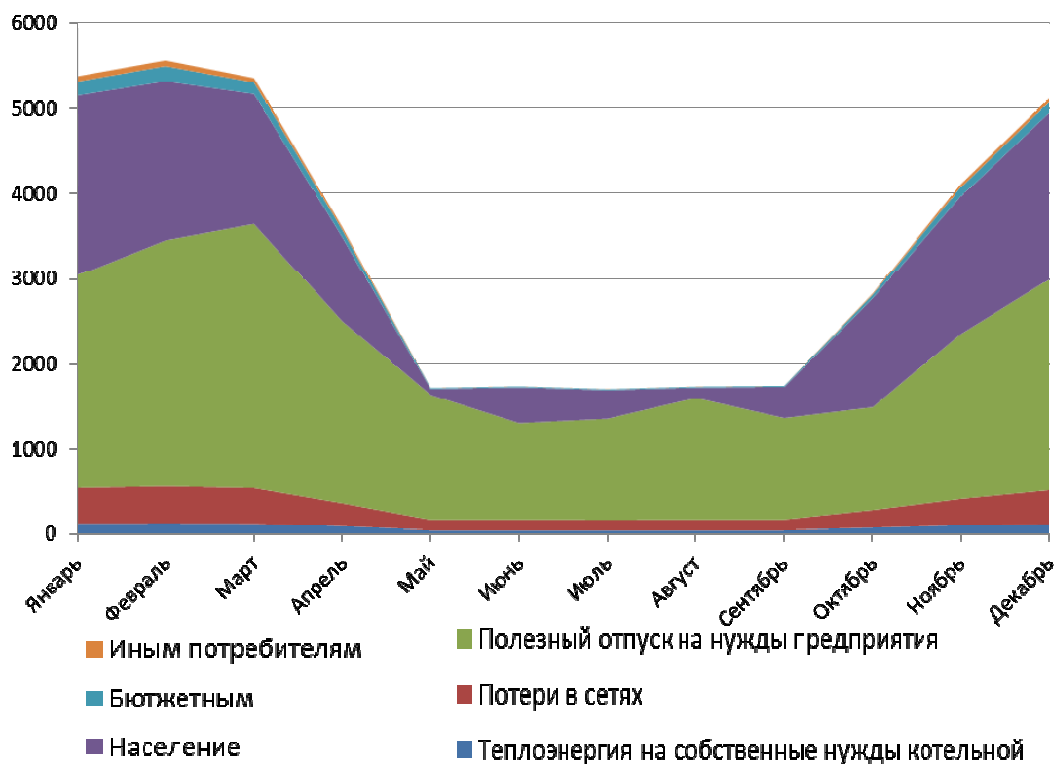


Рис. 2. Теплоотпуск котельной в 2011 году, Гкал/месяц

Как видно из рис. 2, в 2011 г. основную часть тепловой энергии отпускали на нужды предприятия и коммунальным потребителям. В целом в году общая выработка тепловой энергии составила 40584,08 Гкал/год.

При выполнении расчетов использовались прикладные программы, работающие в среде Microsoft Excel, составленные на основе методики, изложенной в [1].

На основании произведенных расчетов нормативы технологических потерь при передаче тепловой энергии по тепловым сетям составили:

КПД брутто котлов – 91,46 %, что является показателем высокой эффективности работы котлов данного типа.

Был разработан перечень мероприятий по повышению энергетической эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на 2013 г.:

- Снижение потерь тепловой энергии в тепловых сетях.
- Перекладка сетевых трубопроводов прямого и обратного направления.
- Внедрение паровинтовой машины ПВМ-500.
- Использование избыточной энергии.
- Снижение расходов потребления электроэнергии за счет внедрения частотных преобразователей на энергоемких электродвигателях.
- Снижение расхода тепловой энергии на собственные нужды.
- Наладка водохимического режима паровых котлов с целью повышения энергетической эффективности оборудования.
- Замена деревянных рам на стеклопакеты.



1. Инструкция по организации в Минэнерго России работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии. Утв. приказом Минэнерго России от 30 декабря 2008 г. № 325.

## **РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СРЕДЕ ANSYS**

*Малыгин И В., Пластун А.Т.  
УрФУ, mitrael\_1@mail.ru*

Проектирование электромеханических устройств не классического исполнения, например, синхронного двигателя с кольцевыми обмотками, представляет собой весьма трудоемкий процесс [1]. С целью уменьшения трудоемкости проектирования электромеханических устройств не классического исполнения в последние десятилетия создаются и совершенствуются различные системы автоматизированного проектирования. К таким системам относятся, например, пакеты компьютерных программ *ANSYS*, *ELCUT*, *FEMM*, *FEMLAB* и другие. Для решения поставленных задач все программы и пакеты программ используют метод конечных элементов. Как известно, данный метод несколько десятков лет известен в математике, как способ численного решения задач, описываемых дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных, к которым относится расчет магнитного поля. Достоинством подобных систем является то обстоятельство, что расчет можно провести в интерактивном режиме, что делает работу с программой доступной для студентов и инженеров.

Для решения поставленной задачи необходимо задать геометрические размеры разрабатываемой модели, например, электромеханического устройства не классического исполнения (обычно в интерактивном режиме), ввести свойства материалов и граничные условия, запустить расчет и вывести его результаты в числовом и графическом виде. Пакет *ANSYS* предоставляет возможность либо самому исследователю разбить моделируемое пространство на конечные элементы (треугольники, прямоугольники, тетраэдры, параллелепипеды и пр.), либо *ANSYS* выполнит эту работу в автоматическом режиме. Весь процесс анализа весьма нагляден, как правило, он сопровождается графическими построениями на экране компьютера [2].

Заметим, что конструкция электромеханического устройства должна быть известна, а геометрические размеры магнитной цепи, ток возбуждения, ампер-витки реакции якоря и расположение их в пространстве статора синхронного двигателя должны быть заранее рассчитаны или заданы.

Для рассматриваемой конструкции с помощью программ пакета *ANSYS* можно определить: поле механических напряжений; тепловое поле; электрическое, магнитное, электромагнитное поле и др. Анализируются как двумерные, так и трехмерные поля; как стационарные, так и нестационарные процессы. Таким образом, возможности пакета *ANSYS* позволяют при проектировании электромеханического устройства существенно снизить затраты на стадии физического моделирования или избежать ее путем проведения физического экспери-

мента в среде *ANSYS* особенно в тех случаях, когда нет ни опытного образца, ни методики поверочного расчета и невозможно определить вариант его конструктивного решения, который бы обеспечил заданные технические требования. Заметим, что для выполнения поставленной задачи традиционно изготавливается один или несколько опытных образцов и проводятся их испытания. Заметим также, что для изготовления и испытания опытных образцов необходимы значительные материальные и временные затраты.

Однако на первом этапе использования пакета *ANSYS* всегда встает вопрос о качестве построенной исследователем расчетной модели и методологии определения сил в пакете *ANSYS*, например, между статором и ротором с целью расчета электромагнитного момента.

С целью подтверждения правильности выполнения необходимых операций при построении расчетной модели была проведена исследовательская расчетная работа, в которой были проведены вычисления максимальной величины электромагнитного момента для синхронного двигателя классического исполнения, расчет которого был выполнен по классической методике, изложенной в [3], и расчет того же момента, выполненного с использованием пакета *ANSYS* для того же двигателя.

Как известно значение электромагнитного момента зависит от величины рабочего угла  $\theta$ . Величина максимального момента для явнополюсной синхронной машины находится при значении угла  $\theta$ , находящегося в пределах между углами в 70 и 90 электрических градусов, и зависит от величины поля поперечной реакции якоря. Значение величины поля поперечной реакции якоря будем задавать путем задания положения осей фаз  $A$ ,  $B$ ,  $C$  в пространстве и угла  $\alpha$ , где  $\alpha$  определяет начальное значение тока в фазе  $A$ . Ось фазы  $A$  совместим с осью  $d$ . Положение первого паза в пространстве первой катушки фазы  $A$  был выбран таким образом, чтобы ось поля, создаваемого катушками фазы  $A$ , совпадала с осью  $d$  северного полюса двигателя и осью «у» глобальной системы координат. Далее в данном пазу моделировалась пазовая часть первой стороны первой катушки катушечной группы фазы  $A$ , а остальные, включая фазы  $B$  и  $C$ , моделировались согласно принятой схемы обмотки.

Алгоритм определения максимума электромагнитного момента состоял в следующем:

- в катушке, которой присвоено имя  $A$ , задавалось значение тока как функция угла  $\alpha$ :  $i_a = I_{\text{ном}} \sin \alpha$ , где за начальное значение угла  $\alpha$  принималось значение, равное нулю;

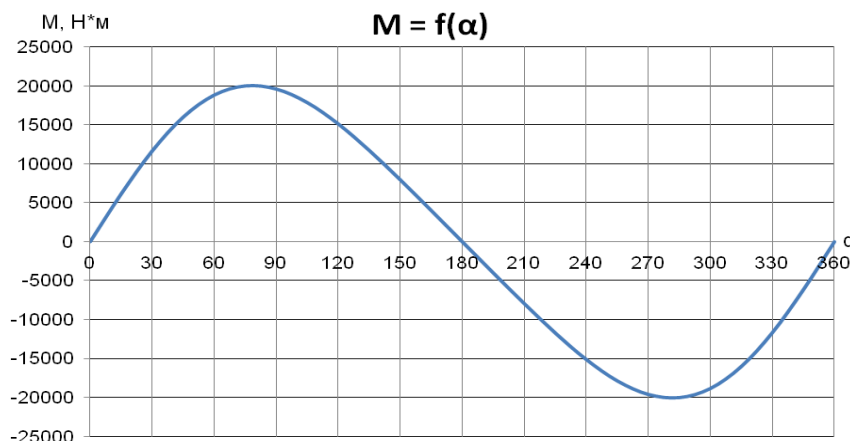
- токи в фазах  $B$  и  $C$  задавались стандартным образом:  $i_b = I_{\text{ном}} \sin (\alpha + 120)$ ,  $i_c = I_{\text{ном}} \sin (\alpha - 120)$ ;

Выполнялся расчет поля для каждой из конструкций. На основании расчета поля определялась проекция вектора силы, действующей между полюсом и статором, на перпендикуляр к оси  $d$ .

Для имитации изменения угла  $\theta$  начальная фаза токов  $\alpha$  задавалась с шагом в 10 электрических градусов. Для каждого значения начальной фазы было определено значение момента и построен график его изменения в зависимость от

угла  $\alpha$ . Из графика определялся угол  $\alpha$ , при котором момент двигателя достигал максимального значения.

Результаты расчетов, выполненных с использованием пакета *ANSYS*, показали, что для двигателя мощностью 500 кВт и частотой вращения 500 об/мин величина максимального электромагнитного момента, рассчитанного в пакете *ANSYS*, больше величины максимального электромагнитного момента, рассчитанного по классической методике, на 5 %.



Зависимость  
электромагнитного  
момента от угла  $\alpha$  для  
двигателя мощностью  
500 кВт классического  
исполнения

Дополнительно выполнялись расчеты для двигателя меньшей мощности (30 кВт) и другой частоты вращения (1500 об/мин.). Результаты расчетов, выполненных с использованием пакета *ANSYS* для двигателя мощностью 30 кВт и частотой вращения 1500 об/мин, показали, что максимальный электромагнитный момент, рассчитанный в пакете *ANSYS*, на 16 % превысил величину максимального электромагнитного момента, рассчитанного по классической методике.

Аналогичный расчет в среде *ANSYS* выполненный для двигателя мощностью 30 кВт и частотой вращений в 750 об/мин, показал превышение на 16 % величину максимального электромагнитного момента, рассчитанного по классической методике.

Из представленных результатов следует, что используемая нами методология расчета электромагнитного момента и расчетная модель в среде *ANSYS* обладают достаточной точностью и могут быть применены при расчете двигателя с кольцевыми обмотками.

#### Библиографический список

1. Пластун А.Т. Патент РФ 2121207, 1996.
2. Методы расчёта магнитных систем электрических аппаратов. Программа *ANSYS*: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.Б. Буль. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 288 с.
3. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под ред. И.П. Копылова. 3-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 2002. 757с.

# **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТВЕРДОЖИДКОГО СОСТОЯНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА**

*Масликов П.А.<sup>1</sup>, Демидович В.Б.<sup>1</sup>, Наке Б.<sup>2</sup>, Никаноров А.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ»*

<sup>2</sup>*г. Ганновер, Ганноверский университет им. Лейбница, институт Электротехнологий*

Анализ мировых тенденций и прогнозов в области применения металлических сплавов до 2020 года показывают, что титановые сплавы являются перспективными материалами широкого назначения [1, 2].

Получение литых заготовок из титана затруднительно из-за его высокой химической активности, поэтому ведутся работы по устранению контакта жидкого металла с окружающей средой без использования защитной атмосферы или вакуума [3-5].

В ходе представленных исследований предлагается способ получения расплава титана внутри самого слитка индукционным методом. Вследствие скин-эффекта при индукционном нагреве источники теплоты распределены по сечению заготовки неравномерно: максимальное тепловыделение происходит на поверхности, с увеличением расстояния от поверхности интенсивность источников теплоты падает. Соответственно поверхностные слои имеют более высокую температуру, чем середина, причем эта разность температур тем больше, чем больше мощность, на которой осуществляется нагрев, и чем выше частота тока.

При этом по мере разогрева заготовки происходит рост тепловых потерь с её поверхности в окружающую среду. Отвод теплоты качественно отражается на характере температурного поля: вследствие охлаждения поверхности в глубине заготовки образуется зона, имеющая более высокую температуру, чем поверхность.

Это явление имеет место при индукционном нагреве всех металлов, однако для титановых сплавов оно проявляется сильнее из-за низкой теплопроводности и высокой температуры плавления. Перегрев внутренних слоев металла может привести, в конечном счете, к их расплавлению. В таком случае поверхность титановой заготовки будет служить защитным слоем (гарнисажем) и защитит расплав от химического загрязнения, не позволив ему реагировать с внешней средой. Следовательно, для титана возможно путем подбора параметров установки и изменением условий технологического процесса добиться получения расплава внутри слитка.

Численные исследования проводились с помощью двух программных пакетов – UNIVERSAL 2D и ANSYS. В качестве заготовок были выбраны цилиндры размером 60x100 мм и весом примерно 1,3 кг из сплава ВТ6.

Процесс нагрева происходит практически до наступления теплового баланса между энергией, поступающей в заготовку, и тепловыми потерями с её поверхности. Такой режим нагрева позволяет добиться максимума температуры в центре слитка.

Исследования проводились в диапазоне частот от 1 кГц до 15 кГц. Такой диапазон выбран для сравнительного анализа количества расплава и времени его образования. На его основе выбрана частота для проведения экспериментальных исследований.

Исследования показали, что максимально возможный объем расплава, полученный при нагреве титана, составляет 75-76%, но при этом вследствие краевого эффекта с ростом частоты идет сильный перегрев торцов загрузки, что недопустимо для технологического процесса. Для получения необходимого количества расплава при приемлемом электрическом КПД целесообразно повышать частоту, соблюдая при этом компромисс между частотой и временем, которое необходимо для нагрева и расплавления.

Для подтверждения результатов, полученных при численном моделировании в ANSYS, были проведены расчеты в программном пакете UNIVERSAL 2D, что позволило путем перекрестных расчетов подтвердить достоверность полученных результатов.

Для дальнейших исследований была выбрана частота 4 кГц, и уже на этой частоте осуществлялся подбор оптимального режима по мощности, напряжению и току.

Лучший результат (максимальный объем расплава в % от общей массы слитка) был достигнут на частоте 4 кГц при токе индуктора 1270 А. Дальнейшее даже незначительное увеличение тока индуктора и, соответственно, мощности приводит к проплавлению поверхности заготовки. С другой стороны ток в 1160 А является недостаточным для образования расплава внутри слитка.

Численное моделирование показало возможность реализации предложенной технологии, после чего полученные результаты были перенесены на экспериментальные исследования, проводимые на лабораторных макетах.

В ходе экспериментальных исследований было изготовлено два макета индукционного нагревателя: первый для заготовок из сплава ВТ6 размерами Ø20x30 мм и Ø30x35 мм, а второй – для цилиндров Ø60x100 мм.

Основные параметры экспериментальных макетов

Параметры	Макет № 1		Макет № 2
Размеры заготовки, мм	Ø20x30	Ø30x35	Ø60x100
Частота, кГц	7	7	4
Ток индуктора, А	~ 975	~ 910	~ 1050
Время, с	~ 245	~ 235	~700

Анализируя первые шаги в данном направлении, можно с уверенностью сказать о возможности реализации процесса получения расплава с помощью предложенной технологии. В ходе эксперимента было получено подтверждение численных результатов, однако стоит отметить, что упрощенная модель не показывает точной формы расплава внутри заготовки. Таким образом, можно сказать, что для более точного прогнозирования процесса в модель необходимо включать расчет как тепловой и электромагнитной, так и гидродинамической задач.

### *Библиографический список*

1. Развитие литейной отрасли до 2020 года по прогнозам специалистов США: Информационный бюллетень. М.: ИТЦМ «Металлург», 2000. № 5. 15 с.
2. Никитин В.И. У белого металла не будет чёрных дней // Металлоснабжение и сбыт. 2000. № 3. С. 72-74.
3. Demidovich V., Maslikov P., Olenin V. Innovative induction heating technologies of processing titanium alloys // Proceedings of the XVII UIE Congress 21-25 May, 2012. St.Petersburg, 2012. P. 390-393.
4. Демидович В.Б., Масликов П.А., Баранов Д.А., Ковинька А.А. Технологии электромагнитного получения литых изделий из титана и титановых сплавов // Индукционный нагрев. 2012. № 2 (20). С. 14-18.
5. Демидович В.Б., Масликов П.А., Григорьев Е.А., Оленин В.А. Инновационные технологии обработки титановых сплавов с применением индукционного нагрева // Индукционный нагрев. 2012. № 3 (21). С. 26-28.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ – НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

*Михалаш М.А., Комкова М.Г., Толстова Ю.И.  
УрФУ, e-mail:yu.i.tolstova@ustu.ru*

Согласно действующим строительным нормам СНиП 23-02 «Теплозащита зданий», решения по теплозащите должны приниматься по условиям энергосбережения. Нормативы, установленные в 2000 году, были пересмотрены в 2005 году в сторону увеличения и используются при проектировании до настоящего времени. Сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения  $R_0^{\text{ЭН}}$  принимается в зависимости от назначения зданий, вида ограждающей конструкции и показателя суровости климата – величины градусо-суток отопительного периода  $B$ :

$$B = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) Z_{\text{оп}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{в}}$  – температура внутреннего воздуха в помещении, °С;  $t_{\text{от}}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;  $Z_{\text{оп}}$  – продолжительность отопительного периода, сут.

Анализ технических решений и оценка экономических тенденций развития энергетики, выполненные В.Г. Гагариным [1], показал, что дальнейшее повышение уровня теплозащиты зданий не является экономически целесообразным как по инвестиционной привлекательности, так и по эффективности капитальных вложений.

В инженерной практике принято оценивать основные решения по экономическим условиям: оптимальному варианту должны соответствовать минимальные затраты финансовых средств. Рассмотрим этот подход применительно к задаче проектирования теплозащиты зданий.

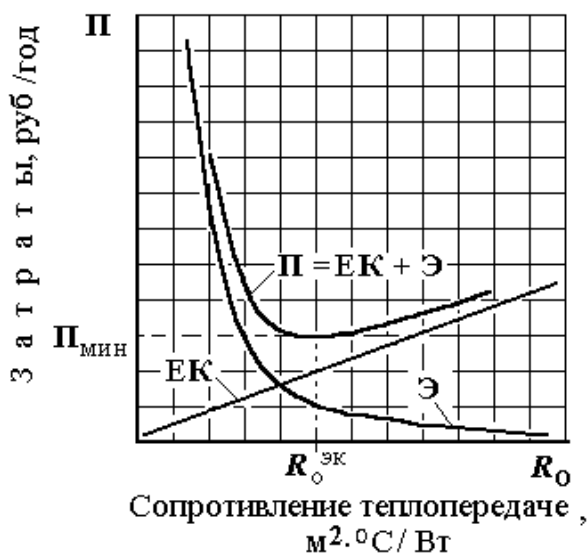
Годовые затраты на поддержание заданных параметров воздушной среды (приведенные затраты) в помещениях складываются из затрат на устройство теплозащиты наружных ограждающих конструкций и эксплуатационных затрат (затрат на отопление):

$$\Pi = EK + \mathcal{E}, \quad (2)$$

где  $\Pi$  – приведенные затраты на теплозащиту, руб./год;  $E$  – коэффициент эффективности капитальных вложений или процентная ставка кредита, 1/год;  $K$  – капитальные затраты, руб.;  $\mathcal{E}$  – эксплуатационные затраты на компенсацию теряемого тепла, руб./год.

При увеличении общего сопротивления теплопередаче затраты на устройство теплозащиты наружных ограждений увеличиваются, а затраты на отопление уменьшаются. Сумма этих затрат имеет следующую тенденцию: при увеличении сопротивления теплопередаче суммарные затраты снижаются, а затем увеличиваются (рисунок).

Как видно, график изменения суммарных затрат имеет минимум, которому соответствует оптимальное значение сопротивления теплопередаче из экономических условий  $R_o^{эк}$ . Решение можно получить графическим путём, задавая разные значения общего сопротивления теплопередаче  $R_o$  и определяя величину затрат  $K$ ,  $\mathcal{E}$  и  $\Pi$ .



Зависимость приведенных затрат от сопротивления теплопередаче

В.Н. Богословским [2] было получено аналитическое решение задачи оптимизации теплозащиты с использованием математического подхода из условия, что производная функции  $\Pi$  в точке минимума равна нулю.

Формула для расчёта сопротивления теплопередаче из экономических условий была включена в СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника»:

$$R_o^{эк} = \sqrt{n \frac{(t_b - t_{от}) Z_{оп} \cdot c_t}{\lambda_{ут} \cdot c_{ут} \cdot E}}, \quad (3)$$

где  $Z_{оп}$  – продолжительность отопительного периода, с;  $c_t$  – стоимость единицы тепла, руб./Дж;  $\lambda_{ут}$  – коэффициент теплопроводности материала утепляющего слоя,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $c_{ут}$  – стоимость утеплителя, руб./ $\text{м}^3$ ;  $n$  – коэффициент, учитывающий отношение термического сопротивления утеплителя к общему сопротивлению теплопередаче.

В последние годы в связи с изменением условий ценообразования экономический подход к выбору уровня теплозащиты применяется не всегда, а в действующих нормативных документах основное внимание уделено выполнению условий энергосбережения.

Выполнен анализ стоимости и теплозащитных свойств современных типов утеплителей и установлено, что эти показатели имеют значения в интервале  $c_{ут} = 2300 - 3300$  руб./ $\text{м}^3$  и  $\lambda_{ут} = 0,034 - 0,044$   $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ , соответственно.

В то же время стоимость тепловой энергии существенно различается по регионам. В таблице представлены цены на тепловую энергию по федеральным округам и значения сопротивлений теплопередаче наружных стен и покрытий жилых зданий, рассчитанные по экономическим условиям  $R_o^{ЭК}$  по формуле (3) и  $R_o^{ЭН}$ , принятые по СНиП 23-02 в зависимости от показателя  $B$ . Установлено, что зависимость сопротивлений теплопередаче  $R_o^{ЭК}$  и  $R_o^{ЭН}$  от показателя суровости климата  $B$  практически одинакова.

Представленные в таблице данные показывают, что в настоящее время значения экономически целесообразного сопротивления теплопередаче наружных стен  $R_o^{ЭК}$  для большинства регионов России близки к рекомендуемым сопротивлениям теплопередаче по условиям энергосбережения  $R_o^{ЭН}$ . Однако для покрытий зданий значения сопротивлений теплопередаче  $R_o^{ЭН}$  значительно превышают экономически целесообразные  $R_o^{ЭК}$ . Дальнейшее увеличение нормируемых значений сопротивлений теплопередаче  $R_o^{ЭН}$  не является экономически обоснованным. Это подтверждает выводы, приведённые В.Г. Гагариным в работе [1].

Применение более эффективных теплоизоляционных материалов позволит принимать меньшие значения общего сопротивления теплопередаче при теплотехнических расчётах.

Таким образом, следует определять уровень теплозащиты зданий, исходя из экономических условий, которые являются более комплексным и обоснованным показателем затрат на поддержание заданных параметров воздушной среды отапливаемых зданий различного назначения.

Сопротивления теплопередаче наружных стен и покрытий жилых зданий

Округ	Показатель $B$ , град.·сут	Стоимость тепловой энергии, руб./Гкал	Сопротивления теплопередаче, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$		
			$R_o^{ЭК}$	$R_o^{ЭН}$	
				стен	покрытий
Северо-Кавказский	2560	840	1,87	2,3	3,48
Южный	3540	1230	2,66	2,64	3,97
Северо-Западный	4818	690	2,32	3,13	4,61
Москва	4943	1440	3,40	3,18	4,67
Центральный	5014	1200	3,12	3,21	4,71
Приволжский	5590	1670	3,90	3,44	5,00
Уральский	6444	911	3,09	3,73	5,42
Дальневосточный	6548	1430	3,90	3,76	5,47
Сибирский	6974	940	3,27	3,89	5,69

#### Библиографический список

1. Гагарин В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий. // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 8-16.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: Теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Высшая школа, 1982. 415 с.



# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАСПЛАВА МЕТАЛЛА ВУДА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКОЧАСТОТНЫХ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Мусаева Д.А.<sup>1</sup>, Гежа В.<sup>2,3</sup>, Наке Б.<sup>3</sup>, Синявин А.А.<sup>1</sup>, Гурьянов А.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный энергетический университет,

<sup>2</sup>Латвийский университет,

<sup>3</sup>Ганноверский университет им. Вильгельма Лейбница, Институт Электротехнологий  
musaeva.d.a@gmail.com

В настоящее время развитие индустрии в направлении энергосбережения диктует необходимость поиска наиболее эффективного проведения технологических процессов. На данный момент электромагнитный нагрев и плавление являются одними из наиболее эффективных методов обработки материалов. В связи с большим распространением данных процессов, а также в связи со значительной их энергоёмкостью поиск путей энергосбережения и способов повышения качества конечного продукта в данной области представляет значительный интерес.

На данный момент мировой тенденцией в области энергосбережения и интенсификации технологических процессов является использование нестационарных процессов с периодическим подводом энергии [1, 2]. Данный способ во многих случаях приводит к повышению эффективности протекания процесса в период подведения энергии, а также к эффекту экономии энергоресурсов в связи с временным отсутствием их затрат в период действия сил инерции.

В качестве возможного приложения данного метода интенсификации в случае индукционного нагрева предполагается применение пульсирующего электромагнитного поля. Ожидается, что подобный нестационарный способ подвода энергии позволит увеличить эффективность протекания процессов плавления и затвердевания материала.

Исходя из мирового опыта применения пульсирующего электромагнитного поля для получения эффекта повышения качества затвердевающего металла, наибольший интерес представляют пульсации поля с низкой частотой [3], что обуславливается инертностью жидкости. Рядом авторов отмечается значительное улучшение микроструктуры затвердевающего материала под воздействием электромагнитных пульсаций, по сравнению с процессом кристаллизации в условиях отсутствия электромагнитного воздействия [4].

В связи со значительной сложностью проведения физического эксперимента, что связано с агрессивностью многих металлов, их непрозрачностью для большинства измерительных приборов, а также высокими температурами плавления, математическое моделирование является приемлемой альтернативой для формирования представления о поведении материала под воздействием нестационарных условий.

В данной работе под пульсирующим магнитным полем понимается кратковременное воздействие электромагнитного поля в полупериод  $T_1$  (рис. 1) и отсутствие воздействия в следующий полупериод ( $T_2$ ), сумма данных полупериодов будет составлять один период пульсаций (рис. 1).

В активный для электромагнитного поля промежуток времени  $T_1$  сила тока в индукторах составляет  $I = 2000$  А и имеет частоту  $f_1 = 400$  Гц, в период отсутствия сообщения внешней силы расплаву ток в индукторах равен нулю.

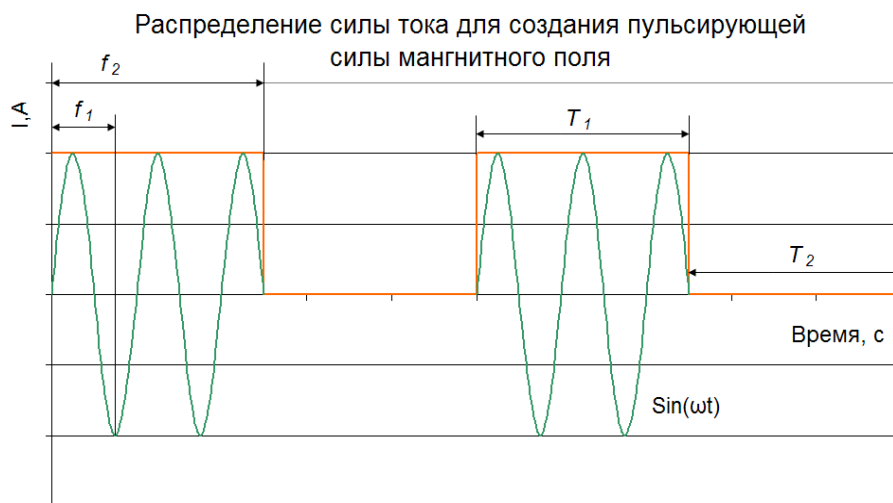


Рис. 1.  
Пульсационный  
способ подвода  
энергии  
к расплаву  
( $f_2$  – частота пульсаций  
силы электромагнитного  
поля для  
нестационарного  
случая)

Степень несимметричности пульсаций определяется коэффициентом скважности ( $\Psi$ ), который определяется как отношение менее продолжительного полупериода импульса  $T_1$  к большему  $T_2$  и изменяется в пределах от 0 до 1, где при  $\Psi = 1$  имеются равные по времени промежутки действия и отсутствия силы электромагнитного поля. Под стационарным воздействием понимается непрерывное протекание тока в индукторах с частотой  $f_1$ .

Расчёт силы пульсирующего магнитного поля проводится в программном пакете *ANSYS*, для моделирования гидродинамики используется приложение *Fluent*. Процесс движения жидкости на первом этапе исследования рассматривается в двухмерной осесимметричной постановке с применением *RANS* (*Reynolds Averaged Navier–Stokes*) моделей турбулентности. Гидродинамика в трёхмерной модели рассматривается с применением как *RANS*, так и *LES* (*Large Eddy Simulation*) моделей турбулентности.

Сравнивается изменение количества движения при импульсном подводе электромагнитного поля относительно процесса, протекающего при стационарном воздействии, путём сопоставления усреднённого по объёму значения турбулентной кинетической энергии.

На основании полученных данных был сделан вывод о применимости *RANS* моделей турбулентности в целях исследования. За счёт наличия усреднения скоростей, входящих в уравнение, описывающее изменение турбулентной кинетической энергии, происходит сглаживание резких изменений скорости, при этом влияние пульсирующего электромагнитного поля менее заметно, чем при применении *LES* модели (рис. 2, 3).

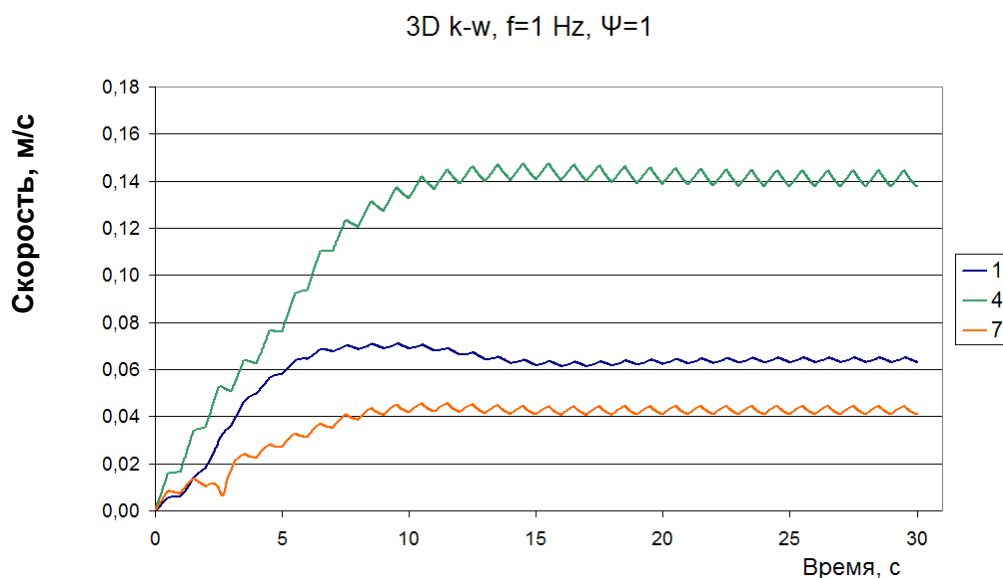


Рис. 2. Распределение скоростей в точках, расположенных на оси геометрии расплава высотой  $H=570$  мм в результате моделирования с использованием  $k$ - $\omega$  модели турбулентности (1 – 285 мм; 4 – 427.5 мм; 7 – 10 мм)

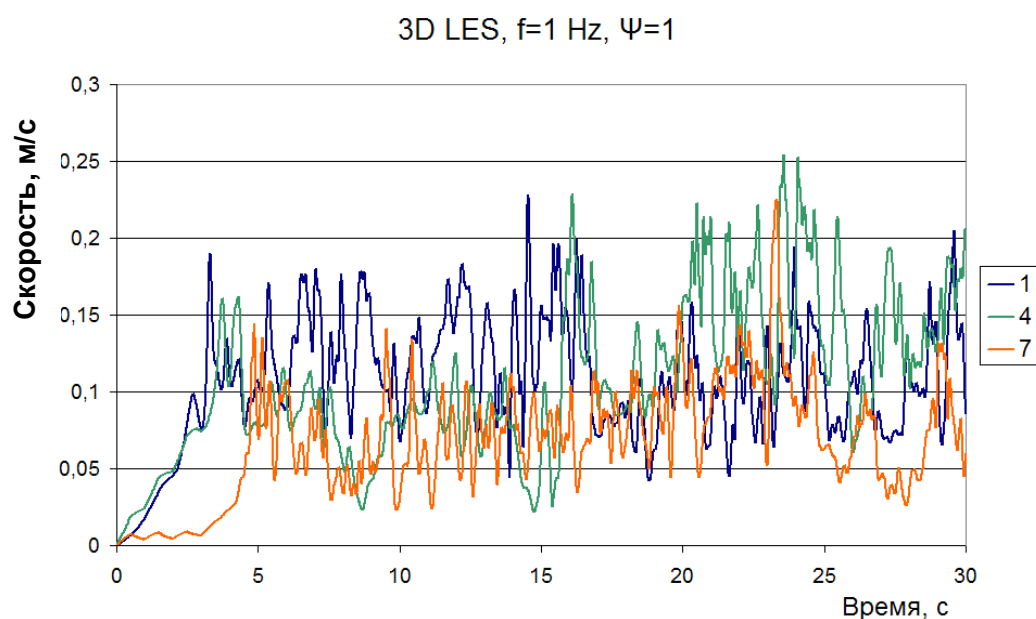


Рис. 3. Распределение скоростей в точках, расположенных на оси геометрии расплава высотой  $H=570$  мм в результате моделирования с использованием  $LES$  модели турбулентности

#### Библиографический список

1. Inaba, T., Kubo, T. Enhanced heat transfer through oscillatory flow // J. Heat Transfer – Japanese Research. 1993. Vol.22. № 5. P. 480-92. Country of Publication: USA.
2. Olayiwola B.O., Walzel P. Flow pulsation and modified duct surface for process heat transfer intensification // International Journal of Chemical Reactor Engineering. 2007. Vol. 5. P. 10.
3. A. Radjai, K. Miwa, Effects of the intensity and frequency of electromagnetic vibrations on the microstructure refinement of hypereutectic Al–Si alloy // Melt. Mat. Mater. Trans. A 31A. 2000. P. 755–762.
4. Xiaoping Ma, Yingju Li, Yuansheng Yang. Refinement effect of pulsed magnetic field on superalloy IN718: from numerical simulation to experiment investigation // Journal of materials research. 2009. 0027.

## **МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ НАКИПИ**

*Мухамадеева Л.Т., Рахимбердиева Г.Р., Абрамова Э.В.  
Альметьевский государственный нефтяной институт  
teplotexAGNI@yandex.ru*

В настоящее время проблемы, связанные с низкими показателями качества воды весьма актуальны, особенно для передвижных котельных установок. Для решения этих проблем в промышленности предлагается большой выбор методов очистки поверхностей от накипи.

Образование накипи предупреждается предварительной химической обработкой воды, поступающей в котлы. Без своевременной очистки котла от накипи оборудование сначала теряет свои теплопроводные свойства, постепенно увеличивая расход энергии, необходимой для поддержания температурных показателей на заданном уровне, а впоследствии теряется возможность циркуляции жидкости-теплоносителя через систему. Причиной этого чаще всего служит отсутствие регулярных очисток котлов от накипи, ведущее к зарастанию труб котельных установок и невозможности циркуляции воды через них.

В данной работе рассматриваются несколько современных методов очистки внутренних поверхностей котлов от накипи: электромагнитный и ультразвуковой.

Очистка от накипи при помощи электромагнитных импульсаторов предусматривает применение прибора УСОН-1.

Электромагнитный импульсатор УСОН-1 разработан для предотвращения и очистки накипи с поверхности паровых и водогрейных котлов. Очистка электромагнитным полем препятствует образованию накипи и конденсатов. Используются технологии: электромагнитная индукция и электромагнитный импульс.

Принцип работы электромагнитного импульсатора УСОН-1 заключается в следующем.

Электромагнитный импульсатор УСОН-1 воздействует на очищаемую поверхность переменным полем. За счет разницы величин индукции насыщения возникает магнитострикционный эффект, между металлом и накипью образуется деформация сдвига, вызывающая отслоение друг от друга.

Достоинства электромагнитного способа:

- Быстрее и экономичнее имеющихся способов удаления накипи.
- Прибор прост в обращении. На трубопроводе подачи воды устанавливается с помощью хомутов электромагнит, который подключается к импульсатору, последний размещается в непосредственной близости в этом же помещении.
- При установке на новом агрегате, практически исключается появление накипи. Происходит улучшение свойств очищаемого от накипи металла, структура металла становится мелкозернистой и более однородной, что позволяет увеличить срок эксплуатации агрегата. Обеспечивается абсолютная экологиче-

ская чистота. Предотвращает появление накипи на поверхностях паровых и водогрейных котлов.

– Для очистки от накипи можно применить ультразвуковой метод.

Он применяется для предотвращения накипеобразования, связанного с эксплуатацией теплотехнического оборудования. С помощью ультразвуковой установки в металле котла и в воде, заполняющей его, возбуждаются маломощные ультразвуковые колебания. Под действием этих колебаний соли жесткости кристаллизуются непосредственно в объеме воды, образуя мелкодисперсный шлам, а колебания поверхностей нагрева препятствуют осаждению шлама на стенках труб. Поэтому шлам находится в воде во взвешенном состоянии и удаляется из котла при регулярных продувках, в результате чего образование накипи не происходит. Кроме этого, ультразвуковые колебания создают механические усилия, разрушающие ранее образовавшуюся накипь, происходит постепенное очищение котла от «старой» накипи непосредственно в процессе его работы.

Экономический эффект применения ультразвуковых противонакипных аппаратов (УПА-2М) обрывается за счет:

- исключения дорогостоящих традиционных химических и механических методов очистки;
- снижения затрат на экологические платежи;
- увеличения межремонтных периодов и сроков службы теплоагрегатов;
- малого срока окупаемости, от 1 до 4 месяцев.

Ультразвуковая технология предотвращения образования накипи является одной из рекомендованных энергосберегающих технологий. Ее применение позволяет увеличить срок работы теплоэнергетического оборудования, уменьшить затраты на его эксплуатацию, достигнуть реальной экономии средств и энергоносителей.

Альтернативой ионообменного умягчения является акустическая (ультразвуковая) технология обработки воды.

Ультразвуковая и электромагнитная очистки внутренних поверхностей котлов от накипи для передвижных котельных установок являются наиболее оптимальными и эффективными.

## **РАСЧЕТ ЗАДАЧ НАГРЕВА В ПАКЕТЕ ANSYS 14.0 ПРИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПЕРВОГО РОДА В 1D И 2D ПОСТАНОВКЕ**

*Новиков М.А., Горбунов В.А.*

*Ивановский государственный энергетический университет*

*E-mail: tevp@tvp.ispu.ru*

Исследования проводились в конечно-элементном пакете ANSYS 14.0.

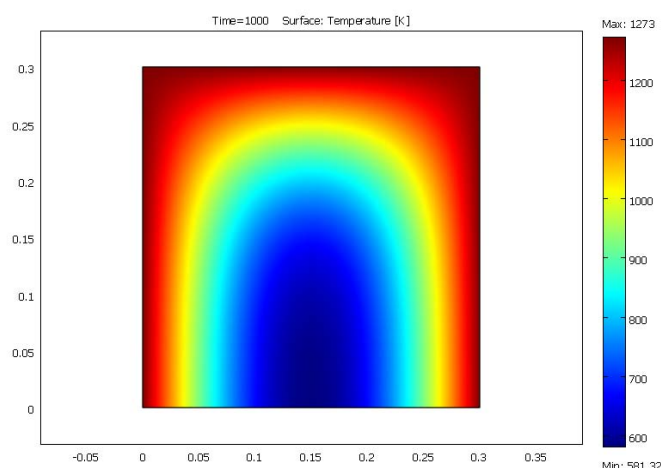
ANSYS – универсальная программная система конечно-элементарного (МКЭ) анализа, существующая и развивающаяся на протяжении 30 лет, является довольно популярной у специалистов в области компьютерного инжиниринга (CAE, Computer – Aided Engineering) и КЭ решения линейных и нелинейных

(включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкции), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена и т.д. [1, 2].

Целью является исследование влияние размера шага по пространству и по времени на результаты вычисления температурного поля в конце нагрева в среде ANSYS 14.0 при 1D и 2D нагрева металла с граничными условиями (г. у.) 1-го рода.

Если при 1D были проведены исследования М.С. Седовым [4] и Т.В. Татариновой [5], то 2D постановка исследуется впервые. Результаты решения сравниваются с решениями между решениями в пакетах ANSYS и Femlab и аналитическим решением, полученным 2D моделированием методом суперпозиции.

Решалась задача нагрева заготовки металла с сечением в виде квадрата с граничными условиями I рода с трех сторон и II рода (условия адиабаты) с одной стороны. Температура внешних сторон была равна 1273 К. Начальная температура нагрева 273 К. Сторона сечения квадрата равна 0,3 м, время нагрева принималось 1000 с. Варьировались размеры шагов по времени нагрева и по пространству (x; y) (рисунок).



Температурное поле квадрата в конце нагрева при г. у. I рода, время нагрева 1000 с

Примеры задач нагрева пластины и условия были взяты из [3]. В отличие от решения задач в 1D в 2D геометрии планируется исследовать влияние формы сетки на точность результатов полученного температурного поля в конце нагрева. Проведен аналитический анализ модели 2D в пакете Mathcad (таблица).

Пример результатов анализа влияния шагов по пространству на прямоугольной сетке с аналитическим решением при вычислении теплового центра в конце нагрева с шагом по времени  $\Delta\tau = 50$  с

$\Delta x$ $\Delta y$	20	70	120	170	220	270	320	370	420
20	847,83*	847,79	847,89	847,70	847,87	847,74	847,04	847,80	847,92
	0,013**	0,025	0,002	0,049	0,0016	0,036	0,042	0,022	0,0090
70	847,69	847,75	847,70	847,65	847,81	847,70	847,93	847,71	847,68
	0,050	0,034	0,048	0,061	0,021	0,048	0,013	0,047	0,054
120	847,92	847,83	847,78	847,73	847,92	847,81	847,03	847,87	847,8
	0,010	0,014	0,026	0,039	0,008	0,022	0,039	0,003	0,023
170	847,69	847,71	847,70	847,60	847,8	847,62	847,95	847,74	847,66
	0,050	0,036	0,048	0,074	0,025	0,07	0,017	0,04	0,058
220	847,78	847,90	847,74	847,72	847,87	847,69	847,02	847,81	847,75
	0,028	0,011	0,03	0,043	0,003	0,051	0,035	0,007	0,040

$\Delta x$ $\Delta y$	20	70	120	170	220	270	320	370	420
270	847,61	847,60	847,58	847,52	847,75	847,5	847,82	847,57	847,6
	0,074	0,060	0,08	0,098	0,036	0,106	0,019	0,083	0,083
320	847,80	847,83	847,89	847,70	847,88	847,72	847,042	847,78	847,80
	0,022	0,012	0,002	0,049	0,001	0,045	0,042	0,0267	0,021
370	847,77	847,78	847,77	847,68	847,83	847,7	847,983	847,71	847,75
	0,029	0,028	0,039	0,052	0,013	0,052	0,026	0,038	0,037
420	847,39	847,25	847,25	847,16	847,36	847,16	847,50	847,263	847,25
	0,130	0,170	0,168	0,195	0,140	0,194	0,103	0,166	0,17

Примечания:

\* в верхних строках указано температурное поле в К в конце нагрева по результатам аналитического решения,

\*\* в нижних строках указана погрешность вычисления температурного поля в пакете Ansys по сравнению с аналитическим решением в %.

В ходе исследований получены результаты, на основе которых были созданы номограммы для определения точности и времени расчета в зависимости  $\Delta\tau$  и  $\Delta x, \Delta y$ . А также была проведена проверка на точность пакета ANSYS при помощи аналитического решения [6, 7]. Полученная погрешность составила  $\min = 0,0016\%$  при  $\Delta x$  (20; 220) и  $\max = 0,195\%$  при  $\Delta y$  (420; 170).

В дальнейшем планируется результаты моделирования использовать для определения погрешности расчета в пакете ANSYS на стадии подготовки решения задачи с 2D геометрией на основе использования нейросетевой технологии.

#### *Библиографический список*

1. Басов К.А. ANSYS и Virtual Lab. Геометрическое моделирование. М.: ДМК Пресс, 2006. 240 с.
2. Басов К.А. ANSYS для конструкторов. М.: ДМК Пресс, 2009. 248 с.
3. Горбунов В.А. Моделирование теплообмена в конечно-элементном пакете Femlab: учеб. пособие / Иваново: ГОУ ВПО «ИГЭУ имени В.И. Ленина», 2008. 216 с.
4. Седов М.С. Разработка модели кузнечного производства в многоцелевом вычислительном комплексе: Пояснит. зап. к дипл. проекту. Иваново: ИГЭУ, 2010. 171 с.
5. Татаринова Т.В. Разработка математических моделей в Ansys-Fluent камерных кузнечных печей для машиностроительных предприятий: Пояснит. зап. к дипл. проекту. Иваново: ИГЭУ, 2011. 141 с.
6. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 592 с.
7. Лыков А.В. Тепломассообмен: справочник; изд. 2-е, пер. и доп. М.: Энергия, 1978. 462 с.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ОБОРУДОВАНИЯ В ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

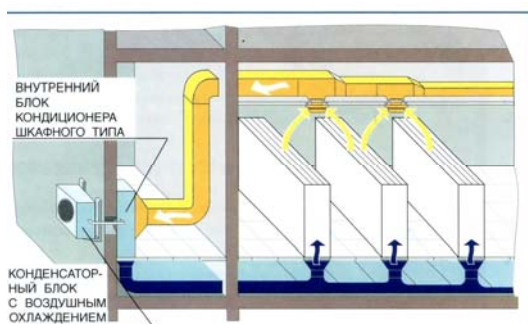
*Носков И.Ю.*

*Тюменский государственный архитектурно-строительный университет*

*ivan.noskov.tmn@gmail.com*

Последние двадцать лет во всем мире активно развивается одна из ветвей сектора информационных технологий, а именно строительство и эксплуатация центров обработки данных (ЦОД). Без стабильно работающих ЦОД не возмож-

на работа телекоммуникационного и информационного сектора экономики. Быстрая обработка и передача данных – факторов, определяющих инновационный характер развития страны. Однако современные ЦОД являются очень энергоёмкими структурами. Затраты на энергию ЦОД складываются не только из энергопотребления установленного в нём вычислительного и телекоммуникационного оборудования. Большую долю в энергопотреблении ЦОД занимают затраты на создание и поддержание требуемых заданных условий воздушной среды помещения ЦОД, т.е. на системы кондиционирования. Но повсеместно производители вычислительного и телекоммуникационного оборудования ищут возможности пути снижения объемов потребляемых энергоресурсов.



В настоящее время лучшим в обслуживании помещений, с установленным технологическим оборудованием со значительным выделением теплоты, являются прецизионные шкафные кондиционеры. Раздача воздуха происходит непосредственно под стойки технологического оборудования. Прецизионные кондиционеры представляют собой разновидность шкафных кондиционеров.

Они оборудованы различными типами систем микропроцессорного управления и способны поддерживать в помещении не только точные параметры по температуре, но и по влажности.

В качестве примера для расчёта-сравнения использовалась помещение размером  $8 \times 8,5 \times 2,7$  м. Стены выполнены из кирпича толщиной 250 мм, потолок и пол перекрыты железобетонной плитой толщиной 210 мм.

Внутри помещения установлено 12 шкафов фирмы *Rittal TE 7000* (размер  $600 \times 2000 \times 1000$  мм). Суммарные тепlopоступления от оборудования 36 кВт (по стандарту *TIA-942*, на одну стойку тепловой поток не должен превышать 5 кВт). Условия оптимальной работы оборудования: температура воздуха 22 °С, относительная влажность воздуха 45 %. Максимальная допустимая температура оборудования 40 °С.

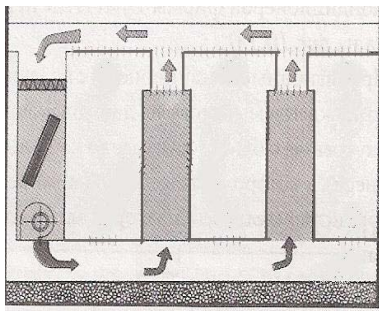
Энергосберегающий вариант сравниваем по экономическому эффекту с так называемым базовым или типовым вариантом, не предусматривающим энергосбережения. Затем выявим наиболее экономически целесообразный из них.

Для решения поставленной задачи сравним два помещения: типовое помещение А без использования материалов для теплоизоляции, и помещение Б, с использованием современных материалов теплоизоляции. В качестве теплоизоляции для помещения Б, на стенах был использован пенополиурентан толщиной 10 мм, со стороны подвала имеется изоляция – пенопласт, толщиной 20 мм; со стороны чердака имеется изоляция – слой керамзита, толщиной 20 мм.

Рассчитав тепловые потери для среднегодовой температуры и для пиковой нагрузки в летние месяцы, сравним полученные результаты: тепловые притоки для летних месяцев – для помещения А составляют 4,12 кВт, для помещения Б



– 2,23 кВт; тепловые потери для среднегодовой температуры – для помещения А составляют 15,26 кВт, для помещения Б – 9,02 кВт.



В целях повышения энергоэффективности помещения ЦОД, рассмотрим покрытие стенок стоек теплоизоляционным материалом, а также установку направляющих воздушных потоков к оборудованию, т. е. преобразование системы кондиционирования в закрытую. Это позволит снизить к минимуму передачу теплоты за границы стойки, тем самым позволит избежать нагрева

воздуха за стойкой и излишнего охлаждения площади помещения, т. е. снижение при этом расхода воздуха в комнате.

Из условия теплового баланса помещения (для пиковых летних нагрузок и для среднегодовой температуры г. Тюмени), определим количество воздуха, необходимое для поддержания постоянных температур на границе стоек:

$$M'_1 = \frac{Q_{изб}}{0,28 \cdot C_p (t_{\max} - t_{онм})} + \frac{Q_{тепл.пр}^{лет}}{0,28 \cdot C_p (t_{лет} - t_{онм})}$$

$$M'_2 = \frac{Q_{изб}}{0,28 \cdot C_p (t_{\max} - t_{онм})} + \frac{Q_{тепл.потер}^{ср}}{0,28 \cdot C_p (t_{ср} - t_{онм})}$$

С помощью полученных значений ( $V'_1 = 7,02 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $V'_2 = 6,9 \text{ м}^3/\text{с}$  – для летней и среднегодовой температуры теплоизолированной стойки;  $V''_1 = 7,98 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $V''_2 = 7,59 \text{ м}^3/\text{с}$  – для летней и среднегодовой температуры типового помещения без применения изоляции) рассчитаем экономическую эффективность применения закрытой системы вентиляции

$$\Xi = \left[ \left( \frac{24 \cdot N_1 \cdot 145}{1000} \right) + \left( \frac{24 \cdot N_2 \cdot 220}{1000} \right) \right] \cdot 1,95 = 5621 \text{ руб./год}$$

Использование более теплоемкого теплоносителя во время пиковых нагрузок, когда удельное тепловыделение стойки превышает определенный порог, более эффективным оказывается жидкостное охлаждение, например, водой, маслом или фреоном. Такой теплоноситель можно подавать в радиаторы охлаждения локально, подводя холод или отводя тепло непосредственно в рамках отдельных стоек. Это позволяет повысить компактность системы охлаждения и сэкономить энергию на вентилировании помещения ЦОД.

Жидкостные системы охлаждения могут быть эффективными и экономически оправданными, когда требуется отвести значительный объем тепла при очень высокой плотности оборудования.

Из условия теплового баланса помещения (для пиковых летних нагрузок и для среднегодовой температуры г. Тюмени), определим количество воды необходимое для поддержания постоянных температур на границе стоек:

$$M'_1 = \frac{Q_{изб}}{0,28 \cdot C_p (t_{\max} - t_{онм})} + \frac{Q_{тепл.пр}^{лет}}{0,28 \cdot C_p (t_{вод} - t_{онм})}$$

$$M'_2 = \frac{Q_{изб}}{0,28 \cdot C_p (t_{\max} - t_{онм})} + \frac{Q_{тепл.потер}^{ср}}{0,28 \cdot C_p (t_{вод} - t_{онм})}$$

С помощью полученных значений ( $V'_1 = 0,00198 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $V'_2 = 0,00189 \text{ м}^3/\text{с}$  – для летней и среднегодовой температуры теплоизолированной стойки;  $V''_1 = 0,0022 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $V''_2 = 0,002 \text{ м}^3/\text{с}$  – для летней и среднегодовой температуры типового помещения без применения изоляции) рассчитаем экономическую выгоду от применения жидкостной системы охлаждения:

$$\Xi = \left[ \left( \frac{24 \cdot N_1 \cdot 145}{1000} \right) + \left( \frac{24 \cdot N_2 \cdot 220}{1000} \right) \right] \cdot 1,95 = 55553 \text{ руб./год}$$

Применение всех выше изложенных методов позволяет добиться нам следующих положительных результатов:

1. Применив закрытую схему вентиляции и кондиционирования, нам потребуется меньшее количество воздуха для охлаждения оборудования, тем самым мы сможем сэкономить электроэнергию на работе кондиционера.
2. Переход с традиционного кондиционирования на локальное охлаждение шкафов, теплоизолированных от внутреннего пространства комнаты, позволит избежать неэффективного охлаждения площадей.
3. Использование в качестве теплоносителя воды для охлаждения ЦОД в несколько раз увеличивает экономический эффект от принятых мер, при минимальных капиталовложениях.
4. Применение в системе охлаждения дополнительного контура с жидкостным охлаждением позволяет более качественно и быстрее покрывать тепловые излишки во время пиковых нагрузок.

#### *Библиографический список*

1. Ананьев В.А., Балыева Л.Н., Гальперин А.Д. [и др.] Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. - М.: Евроклимат, изд-во «Арина», 2001. 416 с.
2. Ерёмкин А.И., Королёва Т.И., Данилин Г.В. [и др.] Экономическая эффективность энергосбережения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: учебное пособие. М.: Изд-во Ассоциация строительных вузов, 2008. 184 с.
3. Королёва Т.И. Экономическое обоснование оптимизации теплового режима зданий. М.: АСВ, 2001. 144 с.
4. Майоров В.А. Энергосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции: учебное пособие. Пенза: Пензенский гос. архит.- строит. ин-т, 1995. 108 с.
5. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: учебник для вузов/ В.М. Гусев, Н.И. Ковалев, В.П. Попов, под ред. Гусева В.М. Л.: Стройиздат. Ленингр. отделение, 1981. 343 с.
6. Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства: учебник для вузов. 2-е изд. СПб.: Политехника, 2006. 423 с.

## ДОСТИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА

*Осокина П.В., Мошев А.Ю.  
УрФУ, osokina.polina@gmail.com*

Применять в повседневной жизни энергосберегающие и энергоэффективные технологии – значит быть рачительным хозяином, бережно относиться к окружающему миру и к своему будущему. Но все это только слова, а на деле мы часто не обращаем внимания на подтекающий кран, оставляем гореть лампочку и работать телевизор (компьютер) всю ночь, когда в том нет нужды. А между тем, экономический ущерб, причиненный такими безалаберными действиями, исчисляется миллионами рублей. Как скоро, в «Российские головы» придет понимание, как и для чего нужно экономить электрическую или тепловую энергию? Эра дешевых и неограниченных энергоресурсов, к сожалению, а может, к счастью, завершилась. И единственным ненасильственным выходом из сложившейся ситуации остается энергосбережение.

В развитых странах, которые пережили энергетический кризис, бережное отношение к энергии прививается с детства. А нас с детства приучали к бережному отношению к хлебу, к Родине, а вот учить тому, что нужно экономить энергоресурсы: воду, свет, газ – как-то забыли. Ко всему этому прибавляется наследство плановой экономики, от которого за долгие и порой весьма тучные 20 лет так и не удалось избавиться. В результате – высокая энергоемкость российского ВВП. И это отнюдь не «цена холода», ведь многие западные страны с похожим климатом, успешно реализуют энергосберегающую политику. И с этим, безусловно, надо бороться.

Одним из вариантов решения этой проблемы может быть усиление роли государства в плане реализации законов и федеральных программ по энергоэффективности и энергосбережению. Одна из главных задач — запуск механизмов стимулирования к энергосбережению. И уже сделаны первые шаги, принят три года назад Федеральный закон «Об энергосбережении...», который призван не только положить конец расточительному расходованию энергетических ресурсов, но и главным образом должен помочь изменить психологию населения в этих вопросах [1].

Исходя из сложившейся ситуации, не стоит «изобретать велосипед» и тратить время, деньги и рабочие кадры, для того чтобы решить проблему энергосбережения в России. Нужно лишь повернуть голову и увидеть как западные страны (с ничуть не лучшим климатом) решили и продолжают решать вопросы экономического использования энергетических ресурсов.

Перед тем, как начать описывать один из вариантов энергосбережения, хочется обратить внимание, что любые мероприятия энергосбережения направлены, в первую очередь, на простое человеческое понимание и адекватное поведение, а не на выполнение каких-либо законов. Это не сиюминутные действия, это те привычки и тот фундамент, который должен укорениться в течение всей жизни, чтобы стать чем-то неоспоримым, стать вечной аксиомой энерго-

сбережения. Пока не придет осознание действительной необходимости экономии энергии ни один способ, программа и мероприятие не будут работать.

Таким образом, всё снова упирается в вечную проблему России. Это проблема изменения сознания, которое должно предшествовать любому техническому, институциональному или нормативному изменению в той или иной прикладной сфере, будь то политика, экономика, хозяйство. До тех пор, пока необходимость переориентации на пресловутый инновационный путь развития не будет осознана в качестве насущной, все разговоры на эту тему останутся только разговорами.

Обратимся теперь к мировому опыту энергосбережения. По мнению Марко Маттейни (Marco Matteini), представляющего Организацию ООН по промышленному развитию (United Nations Industrial Development Organization, UNIDO), энергоэффективность в современной промышленности достигается сегодня большей частью не за счет внедрения новых энергосберегающих технологий, а за счет изменений в методах и способах управления.

Практика современного технологического развития показала, что снижение энергоёмкости продукции основано на внедрении современных технологий и стандартов энергоменеджмента. Повышение уровня энергоэффективности – это не только техническая проблема, требующая технологических решений, но и управленческая проблема. На глобальном уровне таким инструментом стал международный стандарт по управлению энергопотреблением ISO 50001. Систему энергоменеджмента (energy management system) образует «набор взаимосвязанных друг с другом и взаимодействующих между собой элементов организации, основывающихся на энергополитике, целях, процессах, процедурах и позволяющих достигать этих целей» [2].

Стандарт ISO 50001 развивает и выводит на международный уровень методологию системы энергоменеджмента, которая ранее была представлена национальными стандартами ряда стран, в частности, США (ANSI/MSE 2000:2008), ЮАР (SANS 879:2009), Южной Кореи (KS A 4000:2007), Китая (GB/T 23331:2009), Беларуси (СТБ 1777-2009). В объединенной Европе на основе общеевропейского стандарта на системы энергоменеджмента (EN 16001:2009) тридцать (!) европейских стран приняли его национальные версии.

Выбор энергоменеджмента, не останавливаясь лишь на проведении энергообследования, исходя из требований Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении...» – это выбор в пользу наилучшей мировой практики в области энергосбережения.

Внедрение системы менеджмента само по себе не обязательно будет вести к улучшению процессов и решению всех проблем компании. Скорее система менеджмента – это средство к системному подходу к деятельности и процессам в организации.

Основная идея решения управленческой проблемы повышения уровня энергоэффективности заключается в последовательном применении системного подхода к энергоменеджменту. Таким образом, дополнительные возможности повышения уровня энергоэффективности могут быть получены на основе применения стандартной методологии PDCA (Plan-Do-Check-Act), свойственной

международным стандартам (ISO 9001, 14001 и др.). Дополнительные аргументы, которые в явном виде демонстрируют преимущества системы энергетического менеджмента, следуют из противопоставления системного и несистемного подходов к энергоменеджменту (таблица).

Сравнение системного и несистемного подходов

НЕ системный подход, НЕ основанный на требованиях ISO 50001	Системный подход, основанный на требованиях ISO 50001
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фокусируется лишь на отдельных аспектах и элементах, влияющих на энергоэффективность (фрагментарный и ограниченный);</li> <li>2. Невнимание и не учёт отдельных аспектов и элементов влечёт к сбоям в процессе энергосбережения и к непониманию со стороны персонала;</li> <li>3. Трудно проверяемый (неаудируемый) процесс с не всегда объективными результатами проверки;</li> <li>4. Энергосбережение осуществляется лишь тогда, когда это посчитает необходимым руководство или государственные органы;</li> <li>5. Не представляется возможным объективным образом показать любой стороне достигнутые результаты в области энергосбережения.</li> <li>6. Невозможно сравнить свою практику с аналогичной практикой других компаний</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нацелен на рассмотрение и учёт ВСЕХ аспектов, влияющих на энергоэффективность, а также на постоянное улучшение;</li> <li>2. Проверяемый (аудируемый) процесс энергосбережения как со стороны внутренних, так и внешних аудиторов.</li> <li>3. Сертифицируемый процесс, соответствие стандарту может быть продемонстрировано по всему миру;</li> <li>4. Непрерывный (непрерывающийся во времени) и планируемый процесс энергосбережения, имеющий определённые точки отсчёта (базовые линии) и ясную перспективу в виде документированных энергоцелей;</li> <li>5. Подход, основанный на наилучшей мировой практике самых успешных американских, европейских и азиатских компаний.</li> </ol>

Из этой таблицы совершенно очевидны признаки не управляемой, и в конечном итоге неэффективной деятельности, так же как и признаки эффективного менеджмента по управлению процессами [3].

Основная идея внедрения ISO 50001:2011 состоит в том, что внедряется не программа мероприятий, а система менеджмента с механизмами проведения мониторинга, анализа, корректирующих действий (рисунок). Цель стандарта – дать ориентиры, по которым можно оценить и улучшить уже применяемые управленческие методы [4].

Стандарт энергоменеджмента ISO 50001 стал новым инструментом, который позволяет одновременно, планомерно и непрерывно снижать потребление энергии, сокращать нагрузку на окружающую среду и получать финансовые преимущества.

Преимущества от внедрения системы энергоменеджмента:

- создание производственной культуры, основанной на энергосбережении;
- создание системы мотивации рационального расходования топливно-энергетических ресурсов;
- принятие решений, основанных на данных измерений и анализа энергопотребления и энергоэффективности;

- установление критериев энергоэффективности по всем направлениям деятельности предприятия;
- внедрение механизмов системного управления в области энергоменеджмента: реализация программ энергосбережения и оценка эффективности их выполнения;
- предъявление повышенных требований к энергоэффективности закупаемых оборудования, услуг и энергии;
- постоянное улучшение энергоэффективности производственных процессов, обеспечение устойчивого снижения уровня энергопотребления.



Модель системы энергоменеджмента в ISO 50001

Энергетический менеджмент – это управленческий процесс, логически продолжающий энергоаудит и предполагающий последовательное выполнение, цикличность и координацию планирования, создания адекватных структур управления, механизмов стимулирования и контроля над рациональным расходованием энергоресурсов. Осуществление энергоменеджмента обеспечивает условия и способы достижения уменьшения энергозатрат на предприятии с целью повышения уровня конкурентоспособности производимых товаров и услуг. В оперативном плане введение энергоменеджмента следует рассматривать как ответную реакцию предприятия на снижение конкурентоспособности продукции в результате повышенных энергозатрат.

Применение энергоменеджмента в организации – это инновационное решение, которое связано с модернизацией существующих методов управления, а также самой психологии управления энергопотреблением и энергозатратами. Необходимо преодолеть устаревшую управленческую практику, при которой бизнес-процессы по управлению потреблением/выработкой энергоресурсов (т. е. энергоменеджмента) совмещены с процессами по эксплуатации основного технологического оборудования и системы энергоснабжения организации (т. е. технической деятельности энергослужб) [5].

Впрочем, внедрение системы энергоменеджмента – это лишь один из инструментов энергосбережения, но даже применение только этого инструмента может по предварительным (прогноznым) оценкам принести целый ряд выгод организационного, финансового и репутационного характера, а в итоге способствовать повышению конкурентоспособности организации.

#### *Библиографический список*

1. Алексеенко С. Побудительные мотивы энергосбережения [Электронный ресурс] URL: <http://www.sibin.su>
2. Edwin Pinero. Energy excellence: In comes the ISO 50001 energy management system standard // ISO Focus+. May 2011. P. 8-10.
3. Хохлявин С.А. Стандарт ISO 50001: системный подход к энергоменеджменту [Text] / С. А. Хохлявин // ЭнергоАудит. 2009. № 3 (11). С. 36–39.
4. Хохлявин С.А., Сакаева Т.Л., Локтева Н.Г. Внедрение системы энергоменеджмента (ISO 50001): ключевые шаги // ЭнергоАудит. 2010. № 3 (15). С. 36-41.
5. Хохлявин С.А. Энергоменеджерский стандарт ISO 50001: курс на оценку соответствия // ЭнергоАудит. 2011. № 2 (18). С. 34-39.

## **О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ЗАПОЛНЕНИЯ ТЕРМОСИФОНОВ**

*Папченков А.И., Муңц В.А.  
УрФУ, papchenkov@yahoo.com*

В настоящее время в теплоэнергетике в качестве теплопередающих устройств находят применение испарительные термосифоны, которые представляют собой замкнутую полость, частично заполненную теплоносителем, изменяющим фазовое состояние в процессе переноса тепла. Высокая эффективность такого устройства объясняется использованием скрытой теплоты парообразования. Исследованию закономерностей работы испарительных термосифонов посвящено значительное число работ [1-3].

За последние 15-20 лет на ряде предприятий цветной металлургии за плавильными печами были установлены котлы-утилизаторы и установки испарительного охлаждения с термосифонами конструкции ОАО «Уралэнергоцветмет». Основное их назначение – это снижение температуры отходящих технологических газов и утилизация их тепла за счет выработки пара и подогрева воздуха на дутье.

Как правило, это установки, вырабатывающие насыщенный пар с параметрами от 8 до 15 бар. В настоящее время агрегаты успешно эксплуатируются

и в большинстве случаев не вызывают нареканий со стороны обслуживающего персонала. Во многом это происходит благодаря проведению их реконструкции в период останова, оптимизации систем очистки поверхностей нагрева, проведению теплотехнических испытаний, а также совершенствованию технологии заполнения термосифонов. Данная работа направлена на поиск решений для последнего из вышеуказанных направлений.

Основной причиной, определяющей необходимость проведения работы, является наличие на участке охлаждения термосифона неконденсирующихся газов (далее – НКГ), не участвующего в процессе конденсации, значительно снижающего эффективность устройства.

Существуют три принципиально отличные модели, описывающие механизм переноса тепла на участке охлаждения при наличии НКГ [4]:

1. На участке охлаждения создается парогазовая смесь, из которой происходит конденсация пара («диффузионная» модель).

2. На участке охлаждения имеются зоны пара, парогазовой смеси и НКГ (комбинированная модель).

3. На участке охлаждения создаются две зоны – паровая, из которой происходит конденсация, и воздушная, которая уменьшается по мере роста тепловой нагрузки и играет роль демпфирующей пробки («пробковая» модель).

Анализ процессов, протекающих в конденсационной части термосифона, показал, что при низких тепловых нагрузках наиболее реальна модель демпфирующей воздушной пробки. Это объясняется тем, что радиальная составляющая градиента концентраций значительно больше осевой, вызванной термодиффузией. Однако, при увеличении тепловых нагрузок и, как следствие, при интенсификации парообразования и повышении давления внутри термосифона происходит обратное явление (рис. 1).



Рис. 1. Изменение высоты воздушной пробки в зависимости от давления внутри термосифона



Из рис. 1 видно, что уже при давлении свыше 10 бар воздушная пробка, образовавшаяся в термосифоне, занимает объём менее 4 % от внутреннего объёма термосифона. Так как при эксплуатации термосифонов давление внутри него колеблется в пределах от 25 до 50 бар (в зависимости от его геометрических характеристик и тепловых нагрузок), модель демпфирующей пробки и комбинированная модель не могут быть применены. Таким образом, в данном случае стоит учитывать лишь «диффузионную» модель. Известно, что даже при небольшом содержании примеси, например, 1% воздуха в смеси с водяным паром, коэффициент теплоотдачи снижается примерно вдвое [5].

Поскольку в настоящее время процедура заполнения термосифонов теплоносителем происходит без удаления НКГ, авторами было разработано устройство для их откачки (рис. 2.).

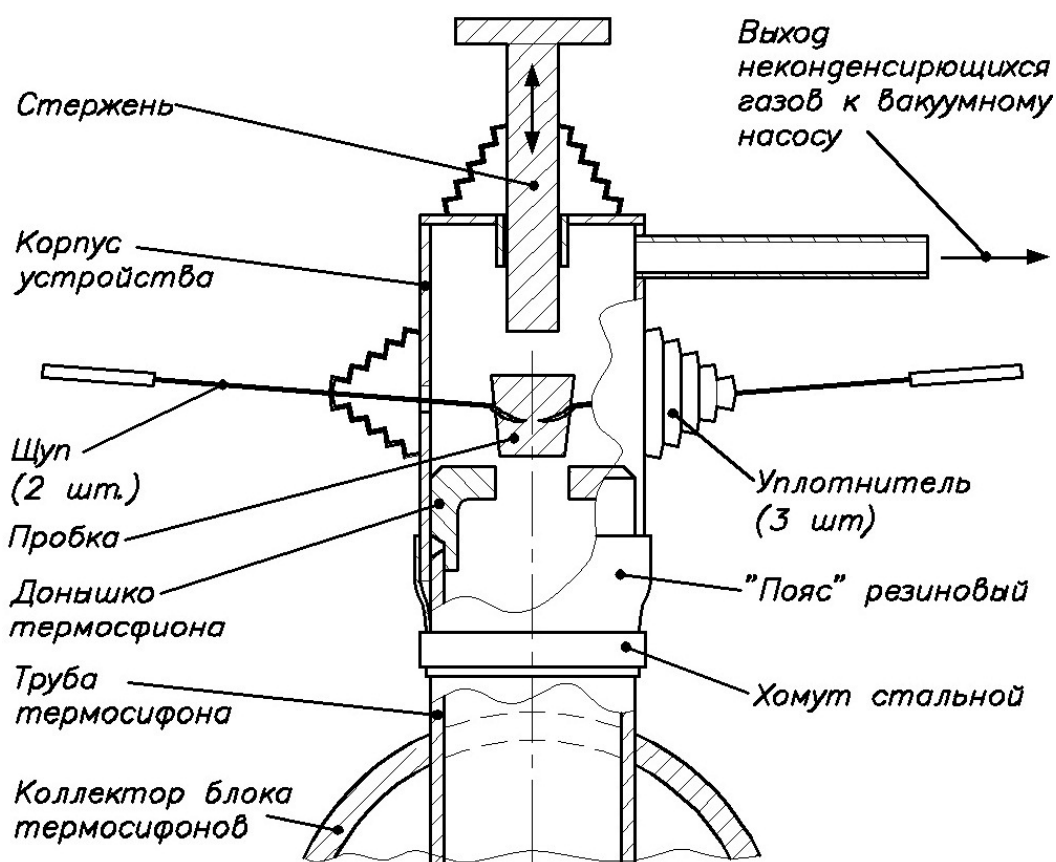


Рис. 2. Устройство для удаления НКГ из термосифона при его заполнении.

Устройство состоит из корпуса, представляющим из себя цилиндр с крышкой, в котором проделаны отверстия для щупов и стержня, между которыми герметично проклеены резиновые уплотнители. Процедура заливки в данном случае выглядит так: термосифон заполняется теплоносителем (питательная вода); патрубок для отвода НКГ присоединяется к вакуумному насосу; устанавливается устройство для удаления НКГ из термосифона; щупами приподнимается пробка; после откачки НКГ по стержню ударяют молотком так, чтобы пробка плотно вошла в отверстие доньшка; после чего – снимают устройство и газоплотным швом приваривают пробку к доньшку.

На данный момент устройство находится в стадии конструкторской разработки; в первом квартале 2013 г. планируется опробовать его на практике.

Использование данного устройства позволит повысить эффективность работы термосифона, устранить потери воды с испарением при заполнении термосифонов в период разогрева энергетического агрегата, проводить заполнение термосифонов без привязанности к срокам пуска и разогрева энергетического агрегата, благодаря чему также повысится безопасность условий труда специалистов.

#### *Библиографический список*

1. Безродный М.К., Файнзильберг С.Н., Белойван А.И. Исследование кризиса теплопереноса в замкнутых двухфазных термосифонах // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1967. № 9. С. 161-165.
2. Стоянов Н.М. // Теплоэнергетика. 1968. № 3. С. 74-76.
3. Андреев С.П. // Теплоэнергетика. 1972. № 7. С. 88.
4. Горбис З.Р., Савченков Г.А. Исследование влияния неконденсирующихся примесей на эффективность теплопереноса испарительного термосифона // Теплоэнергетика. 1973. № 10. С. 70-73
5. Дудник Н.М. Исследование процесса конденсации водяного пара из парогазовых смесей различного состава в кожухотрубных теплообменных аппаратах. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. С. 3.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ**

*Пожиганов А.Н., Ключев Р.В.  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)  
kluev-roman@rambler.ru*

В последние годы особую актуальность приобретают вопросы анализа качества электроэнергии (КЭ) на промышленных предприятиях различных отраслей промышленности. Необходимость решения этих вопросов обусловлена наличием на предприятиях нелинейных потребителей электроэнергии, искажающих осциллограмму фазных и линейных напряжений в системе электроснабжения (СЭС) [1]. Одним из крупнейших предприятий цветной металлургии РСО-Алания является ОАО «Победит». Основной продукцией завода являются твердые сплавы, вольфрамовые и молибденовые штабики.

Одним из важнейших технологических переделов, в котором осуществляется производство вольфрамовых штабиков, является цех тугоплавких металлов № 1. Основным оборудованием цеха являются печи сопротивления (вращающиеся (ВКП), трубные (ТП), муфельные) и сварочные аппараты.

С помощью приборов AR5, ПКК-57, Энерготестер ПКЭ проведено исследование несинусоидальности напряжения и тока, возникающей при работе муфельных печей и сварочных аппаратов [2, 3].

На рис. 1 приведены гистограммы изменения коэффициентов  $n$ -ой гармонической составляющей межфазных напряжений ( $k_{U12(n)}$ ,  $k_{U23(n)}$ ) и фазных токов ( $k_{I1(n)}$ ,  $k_{I2(n)}$ ) муфельных печей. Из рис. 1 видно, что при работе печей возникают гармоники по напряжению и току 5, 7, 11, 13 и 17-го порядков. Значения  $k_{U(n)}$  изменяются от 0,99...1,74 %,  $k_{I(n)}$  от 1,09...7,74%.

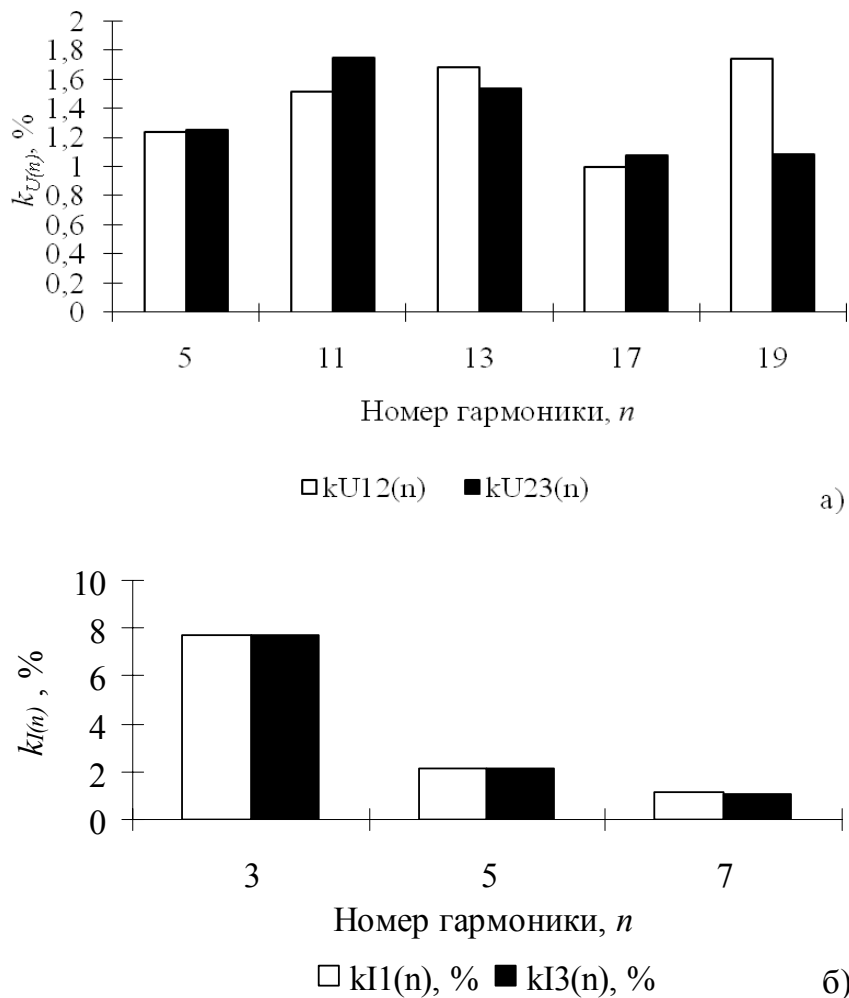


Рис. 1. Гистограммы изменения  $k_{U(n)}$ ,  $k_{I(n)}$

Определены значения коэффициентов несинусоидальности напряжения ( $k_U$ ), составившие для муфельных печей:  $k_{U12}=2,22 \%$ ,  $k_{U23}=2 \%$ .

Вступление России в ВТО, приведет к ужесточению требования по ВГ напряжения до требуемого  $k_{U\text{доп}} = 2 \%$ . Поэтому уже в настоящее время на предприятиях цветной металлургии необходимо проведение дополнительных исследований ВГ и разработка мероприятий по снижению несинусоидальности напряжения.

На основании анализа ВГ по всем кастам потребителей твердосплавного производства построено ранговое распределение ВГ (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что ВГ ранжируются следующим образом: ВГ с  $n = 13, 11, 5$  – новая каста; ВГ с  $n = 17, 3, 7, 19$  – пойнтер каста и ВГ с  $n = 9, 23, 15, 25$  – саранчевая каста.

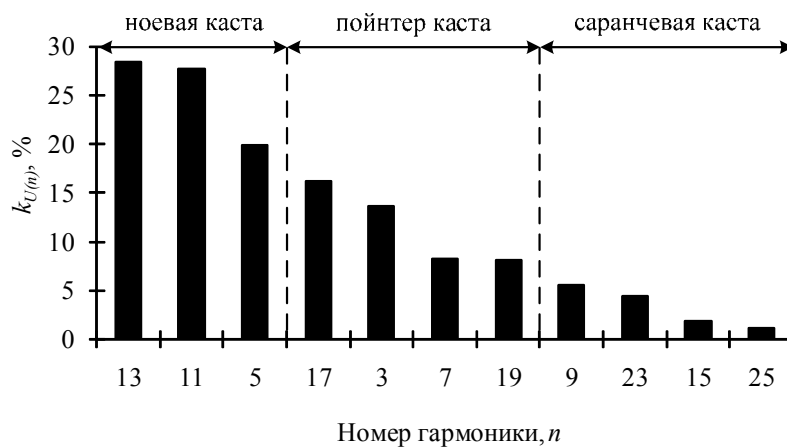


Рис. 2. Ранговое распределение ВГ по всем кастам потребителей твердосплавного производства

Представлены зависимости  $k_U$  и  $W$  от ранга потребителей ( $k_U=f(\text{Ранг})$ ,  $W=f(\text{Ранг})$ ) для потребителей ноевой (ранг 1-6) и пойнтер (ранг 7-11) каст распределения (рис. 3). На рис. 3 представлены следующие потребители: 1 – вентильные кремниевые преобразователи; 2 – сварочные аппараты типа КПН; 3 – насосы; 4 – вентиляторы; 5 – печи сухой карбидизации; 6 – щелевые печи; 7 – алундовые печи спекания; 8 – муфельные печи; 9 – прокалочные печи; 10 – трубные печи сопротивления; 11 – вращающиеся камерные печи.

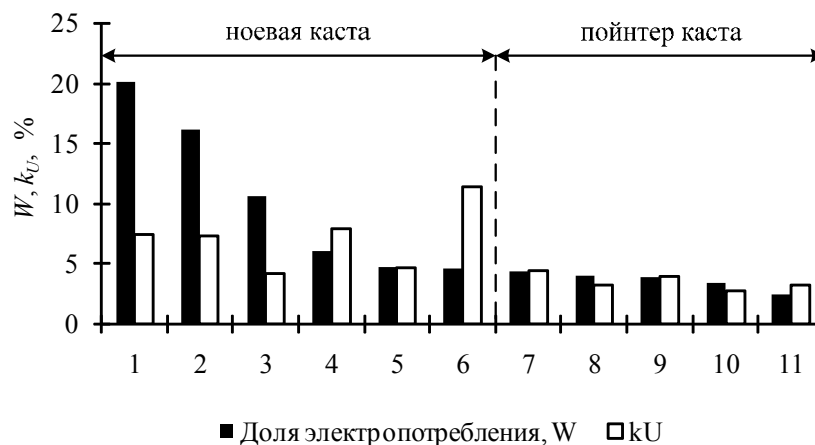


Рис. 3. Зависимости  $W=f(\text{Ранг})$ ,  $k_U=f(\text{Ранг})$

Коэффициенты корреляции между суммарным значением коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения ( $k_{U(n)}, \%$ ), коэффициентом несинусоидальности напряжения ( $k_U, \%$ ) и долей ноевой и пойнтер каст потребителей электроэнергии ( $W, \%$ ) равны 0,56 и 0,37, соответственно.

#### Библиографический список

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М.: Высшая школа, 1985.
2. Ключев Р.В. Исследование высших гармоник токов и напряжений в системе электроснабжения газодувки // Актуальные проблемы современной науки: Труды 3-го Международного форума. Технические науки. Ч. 18. Энергетика. Самара: Самарск. гос. техн. ун-т, 2007. С. 14-19.

3. Ключев Р.В., Котова О.А. Исследование возможных резонансных режимов в системе электроснабжения промышленных предприятий цветной металлургии // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 139-142.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ

*Попов А.В., Рудой В.М., Желобецкий В.А.<sup>1</sup>, Останин Н.И., Алимбиев П.А.<sup>1</sup>  
УрФУ, <sup>1</sup>ООО «Газпром Трансгаз Екатеринбург»  
Popov1979alex@gmail.com*

Эффективность работы системы электрохимзащиты (ЭХЗ) подземных сооружений и продуктопроводов, в том числе, зависит от токоотдачи анодного заземления (АЗ). Большая часть действующих анодов установок катодной защиты (УКЗ) единой газотранспортной системы изготовлена из бывших в употреблении стальных изделий (труб, рельсов, балок и т.п.). В ходе эксплуатации УКЗ со временем повышается расход электроэнергии из-за увеличения сопротивления растекания тока АЗ, это связано, в первую очередь, с пассивацией рабочей поверхности анодов, так как она покрывается слоем плохо растворимых соединений железа. Фактически образующийся слой приводит к фазовой пассивности анодов. В гальванотехнике и гидрометаллургии с пассивностью нередко борются с помощью наложения переменного тока.

Предметом настоящего исследования явилось изучение влияния переменного тока на токоотдачу стальных анодов, поляризуемых постоянным током в системах ЭХЗ.

Ряд наших ранних лабораторных исследований показал, что имеет место влияние наложения переменного тока на поляризуемость стального анода при его растворении постоянным током, а также было подтверждено активирующее действие переменного тока. Зафиксировано смещение анодной поляризационной кривой стали в электроотрицательную область после воздействия переменного тока. Установлено, что при наложении переменного тока на постоянный, поляризуемость стального анода в электролите моделирующем грунтовые воды снижается.

В настоящей работе процесс активации растворения анодных заземлителей изучался в условиях, приближенных к условиям реальной эксплуатации ЭХЗ подземного сооружения.

В качестве анодного заземления использовалась комбинация из пяти стальных винтовых электродов (из стандартного комплекта ПЭЛ ЭХЗ) с общей площадью боковой поверхности  $S = 0,46 \text{ м}^2$ . Аноды заглублялись в грунт на 1,2 м вертикально. В цепь катодной защиты все пять анодов включали параллельно, а в цепи переменного тока их делили на две группы из двух и трех анодов, на которые периодически подавали переменное напряжение. В качестве защищаемого сооружения использовались стальные трубы, с общей площадью боковой поверхности  $S = 4,2 \text{ м}^2$ , заглубленных вертикально в грунт на 1,5 м.

Расстояние между соседними анодами составляло 1,5 м, так же как и между катодами и цепью анодов. Для реализации режима катодной защиты постоянным током применялась катодная станция типа ПНКЗ-ППЧ-М10-32-У2-А. Оценку эффективности активации проводили по характеру изменения тока, потребляемого нагрузкой станции катодной защиты, после подачи между отдельными группами анодов переменного тока промышленной частоты.

Для установки начального значения постоянного тока в цепи нагрузки катодной станции номинальное выходное напряжение 100 В между катодом и анодами выдерживали в течение 240 часов. Таким образом, состояние поверхности анодов было приближено к стационарному состоянию анодов, эксплуатируемых в реальных условиях.

Далее, между анодами подавали переменное напряжение. Было проведено две серии опытов с разными значениями переменного напряжения частотой 50 Гц: 33 и 67 В. Внутри каждой серии варьировалась длительность процесса активации (мин): 60; 40; 30; 20; 10; 5; 2. После этого переменное напряжение отключали, а в цепи станции катодной защиты (в режиме стабилизации выходного напряжения  $U=100$  В), измеряли защитный ток.

Параметры регистрировались с помощью долговременных регистраторов РАД-256 и универсального амперметра. Влажность грунта и воздуха при проведении эксперимента менялись незначительно.

В процессе работы получены данные о зависимости от времени воздействия переменного тока таких величин, как постоянный ток анодов при работе в схеме ЭХЗ и длительность сохранения эффекта последействия (рис. 1).

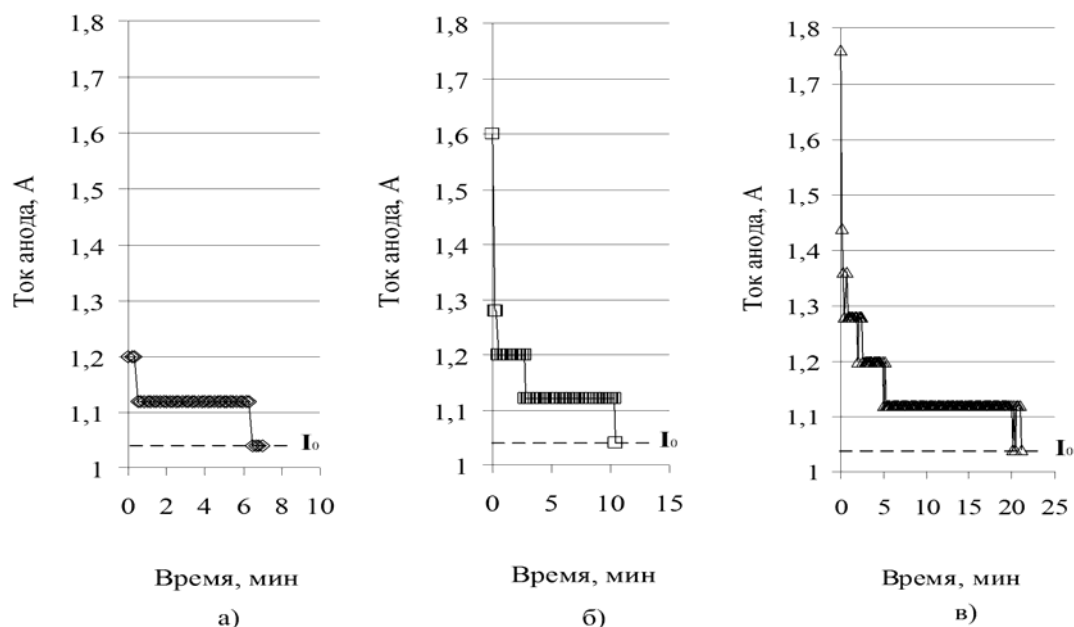


Рис. 1. Фрагменты диаграмм изменения постоянного тока анодов после активации их переменным током ( $U_{\text{пер}} = 33$  В) в течение: а) 10 минут; б) 20 минут; в) 30 минут.

Линия  $I_0$  показывает уровень постоянного тока до активации

При проведении опыта было зафиксировано, что большее возрастание токоотдачи после воздействия переменного тока наблюдается при максимальном времени активации (рис. 2 и 3). Наложение переменного тока должно прово-

даться с такой периодичностью, чтобы сохранялся эффект последействия. Поэтому сравнивать надо затраты энергии переменного тока с выигрышем энергии постоянного тока за время последействия.

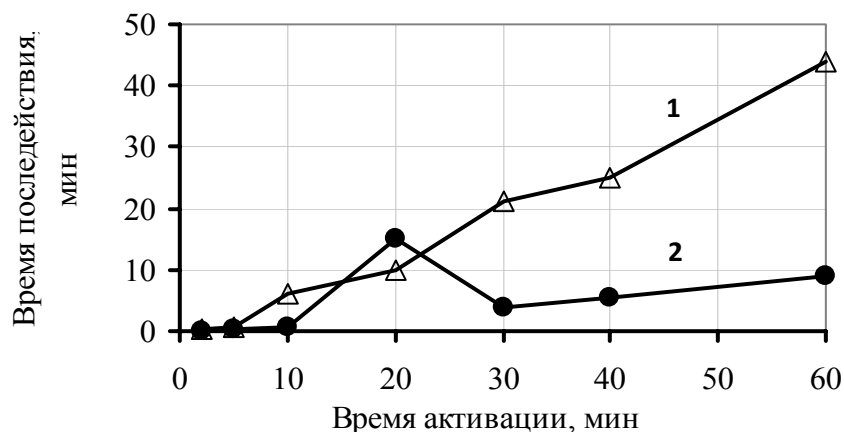


Рис. 2. Зависимость времени последействия от длительности поляризации анодов переменным напряжением: 1 - 33 В; 2 - 67 В

Далее были рассчитаны затраты энергии переменного тока с учетом длительности активации и силы тока. Затем был выполнен расчет выигрыша энергии постоянного тока за счет повышения токоотдачи в период активации. Разность этих величин и представляет меру эффективности в расчете на одну УКЗ.

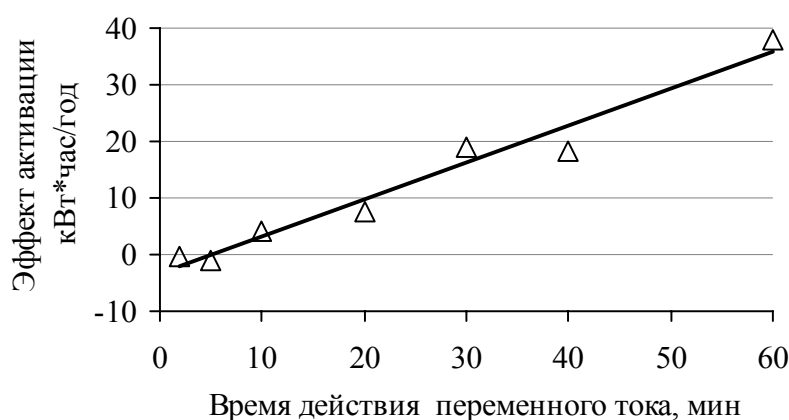


Рис. 3. Зависимость снижения энергозатрат от длительности активации переменным током при напряжении 33 В

*Выводы:*

1. Метод активации анодов системы катодной защиты с помощью переменного тока является эффективным средством энергосбережения.

2. Длительность эффекта активации поверхности АЗ линейно зависит от времени действия переменного тока.

## ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ БЮДЖЕТНОЙ СФЕРЫ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*Потапов И.Е.*

*Энергоаудиторская компания «ИП Трофимовой», УрФУ  
perforobot@bk.ru*

Работа с объектами муниципальных образований Свердловской области, такими как школы, детские сады, спортивные школы, больницы, дома культуры и другими объектами бюджетной сферы – одно из главных направлений дея-

тельности в сфере энергосбережения «ИП Трофимовой С.М.». Перечисленные учреждения имеют огромное социальное значение, и от уровня их работы зависят развитие и качество жизни общества.

Энергосбережение требует системного подхода. Главное условие для грамотного энергоаудита – комплексность обследования, которое позволяет получить целостное представление о строении и понять, что необходимо сделать для нормального функционирования и экономии энергоресурсов.

На основе проведенных обследований и анализа результатов, можно выделить четыре основные группы проблем, наиболее часто встречающихся на муниципальных объектах.

*Административные.* Львиная доля препятствий при проведении обследования приходится на этап сбора информации, который подразумевает сотрудничество с директорами, заместителями по хозяйственной части, бухгалтерами. Главные затруднения связаны с получением достоверных данных, так как часто отсутствует документация, статистические данные, проекты, паспорта на оборудование и другие основополагающие сведения, необходимые для анализа и составления энергопаспорта.

*Ограждающие конструкции.* В процессе обследования специалисты сталкиваются с плохим состоянием зданий: обветшалость конструкций, недостаточная теплоизоляция старых конструкций, некачественное выполнение, ошибки на стадии проекта вновь вводимых. Качественное тепловизионное обследование позволяет задокументировать множество дефектов (рис. 1-4), таких как:

- недостаточная теплоизоляция стен, фундамента;
- температурные аномалии в области межпанельных швов;
- мостики тепла/холода.

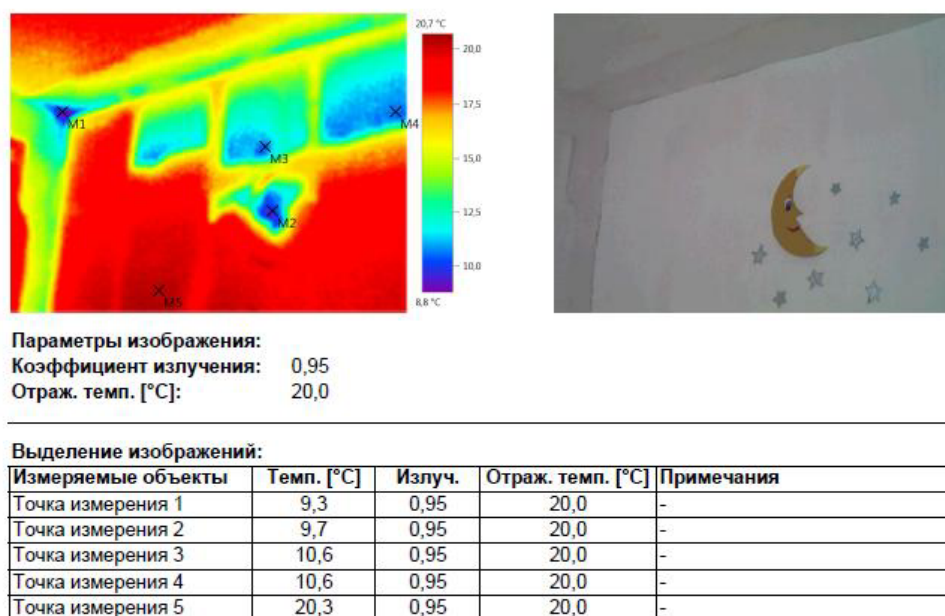
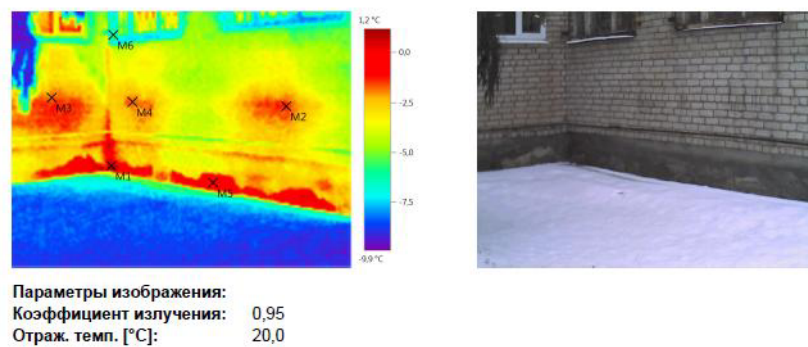


Рис. 1.

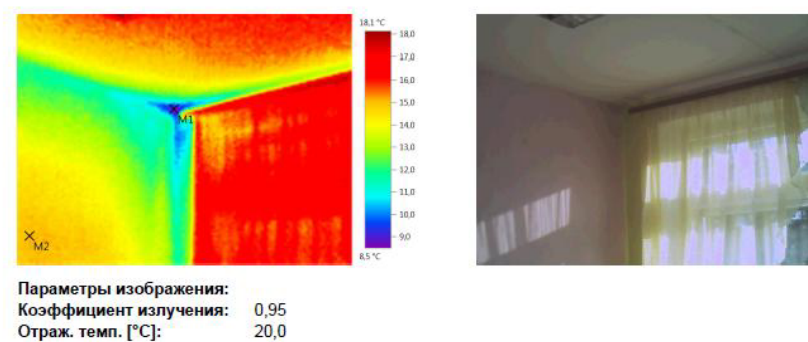




Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	0,9	0,95	20,0	-
Точка измерения 2	-1,3	0,95	20,0	-
Точка измерения 3	-1,7	0,95	20,0	-
Точка измерения 4	-1,8	0,95	20,0	-
Точка измерения 5	-0,7	0,95	20,0	-
Точка измерения 6	-5,7	0,95	20,0	-

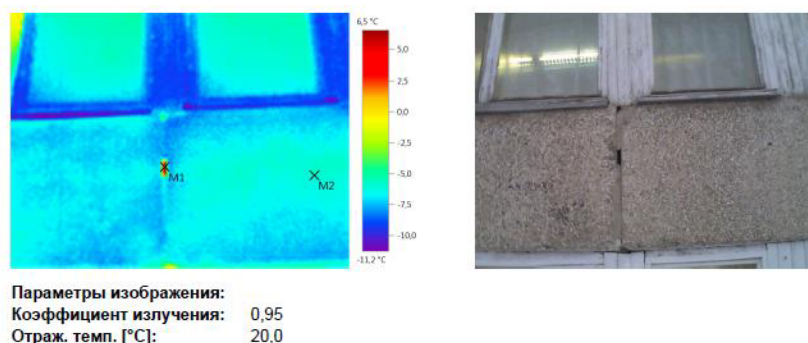
Рис. 2.



Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	8,9	0,95	20,0	-
Точка измерения 2	15,1	0,95	20,0	-

Рис. 3.



Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	6,0	0,95	20,0	-
Точка измерения 2	-6,0	0,95	20,0	-

Рис. 4.

В качестве рекомендаций предлагаются такие работы, как утепление фасадов, герметизация швов, ремонт разрушившихся элементов. Возможно, что в качестве энергосберегающих, данные мероприятия слишком затратны и имеют большой срок окупаемости, но в данном случае речь идет уже не столько об экономии энергоресурсов, сколько о возможности комфортно находиться в таких помещениях.

Опыт обследований показал тенденцию: некачественное выполнение монтажных работ при замене деревянных окон на пластиковые. При этом появляются такие проблемы, как точки инфильтрации, температура в углах конструкций ниже точки росы (рис. 5-6). С точки зрения энергосбережения, пластиковые окна помогают уменьшить теплопотери, но большой вопрос качественной установки – при неудовлетворительном качестве монтажа откосов, уплотнителей, недостаточной теплоизоляции, эффект оказывается противоположным.

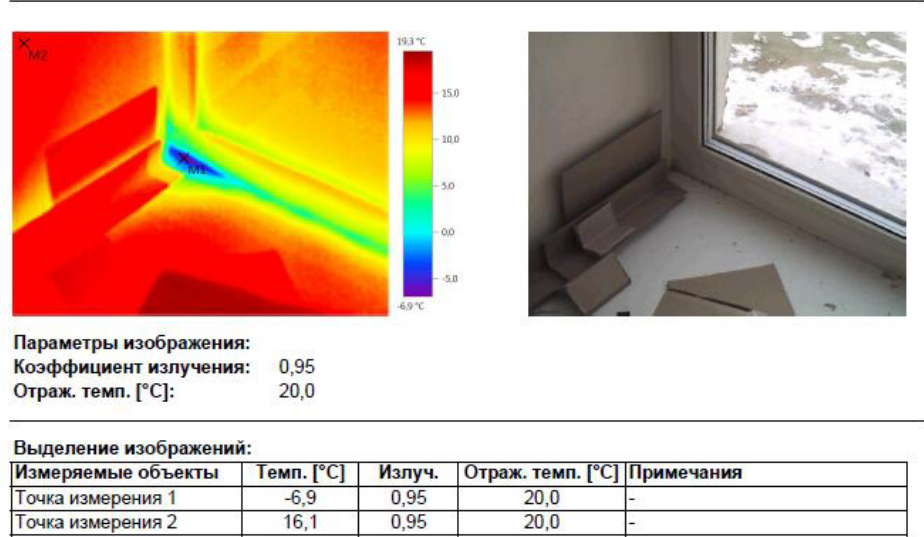


Рис. 5.

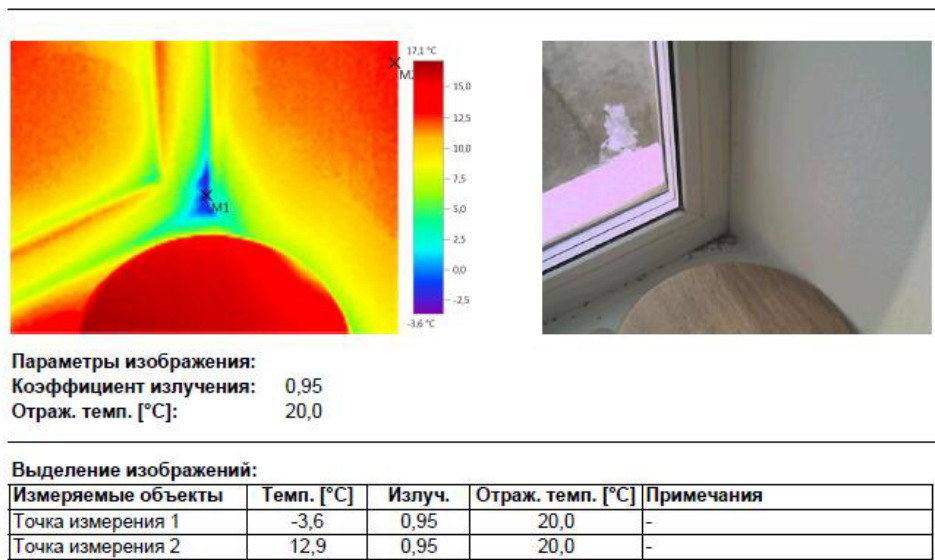
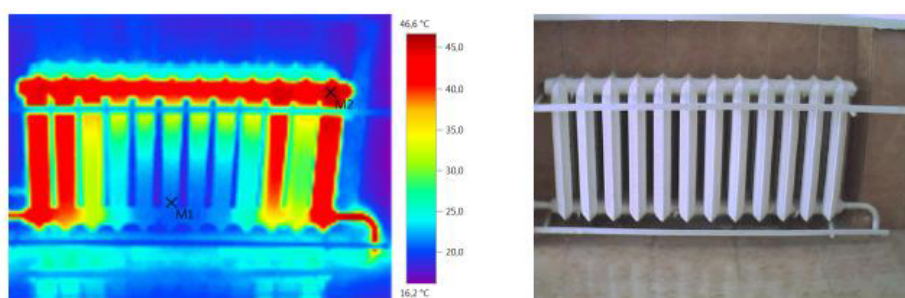


Рис. 6.

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	-0,4	0,95	20,0	-
Точка измерения 2	13,2	0,95	20,0	-
Точка измерения 3	0,9	0,95	20,0	-

Минимум: -0,3 °C Максимум: 12,6 °C Среднее значение: 5,3 °C

*Оборудование.* Одна из основных задач мероприятий по энергосбережению – уменьшение потерь. Зачастую, большинство потерь в системе отопления происходят из-за недостаточной теплоизоляции теплотрассы. Температура теплоносителя в таких системах ниже, поэтому возникает потребность в увеличении потреблении, либо в установке дополнительных приборов отопления. К этому добавляется низкая эффективность самих радиаторов отопления – причинами являются засоры, завоздушенность или отсутствие гидравлической балансировки системы (рис. 8).



Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	20,9	0,95	20,0	-
Точка измерения 2	45,9	0,95	20,0	-

142

*Эксплуатация здания.* В подавляющем большинстве, эксплуатация зданий в муниципальных учреждениях ложится на плечи заведующего по хозяйственной части, который имеет только приблизительное представление о работе тех или иных инженерных систем, свойствах ограждающих конструкций. Естественно, что в таком случае очень трудно отслеживать возникающие проблемы и обеспечивать своевременное обслуживание и ремонт зданий, оборудования.

Конечно, нельзя говорить о тотальной непригодности строений, но ситуация складывается двойственная: с одной стороны здания соответствуют строительным и санитарным нормам, а с другой – чтобы создать комфортные условия требуется гораздо больше энергоресурсов. На сегодняшний день, потенциал энергосбережения объектов бюджетной сферы высокий, но для начала необходимо провести ремонт и уменьшение потерь, а только после этого искать возможности для экономии.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ РАБОТЕ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ**

*Праслова Е.А., Орский гуманитарно-технологический институт  
praslova-elena@mail.ru*

Металлургические производства машиностроительных предприятий являются крупными потребителями электроэнергии. Рост потребления электроэнергии определяется увеличением производства электростали за счет применения современных энергетических установок, наиболее мощными из которых являются дуговые сталеплавильные печи.

Дуговые сталеплавильные печи очень энергоемки и оказывают значительное влияние на общий объем энергопотребления и качество электроэнергии систем электроснабжения.

Дуговые сталеплавильные печи как нагрузка негативно влияют на качество электрической энергии, питающей сети. Работа ДСП сопровождается возникновением в электрической сети колебаний напряжения, а нелинейность и несимметрия фазных токов, потребляемых печью, приводит к искажению формы кривой тока, несимметрии напряжения. Несинусоидальные режимы оказывают негативное воздействие на силовое электрооборудование, системы релейной защиты, автоматики и телекоммуникации. Экономический ущерб, возникающий в результате воздействия высших гармоник, обусловлен ухудшением энергетических показателей и сокращением срока службы электрооборудования, общим снижением надежности функционирования электрических сетей. В отдельных случаях возможно ухудшение качества и снижение количества выпускаемой продукции.

Энергетическое обследование ОАО "МК ОРМЕТО-ЮУМЗ" при работе ДСП выявило, что показатели качества электроэнергии не соответствуют ГОСТ 13109–97 по установившемуся отклонению напряжения (рис. 1), по коэффициенту  $n$ -й гармонической составляющей напряжения (рис. 2).



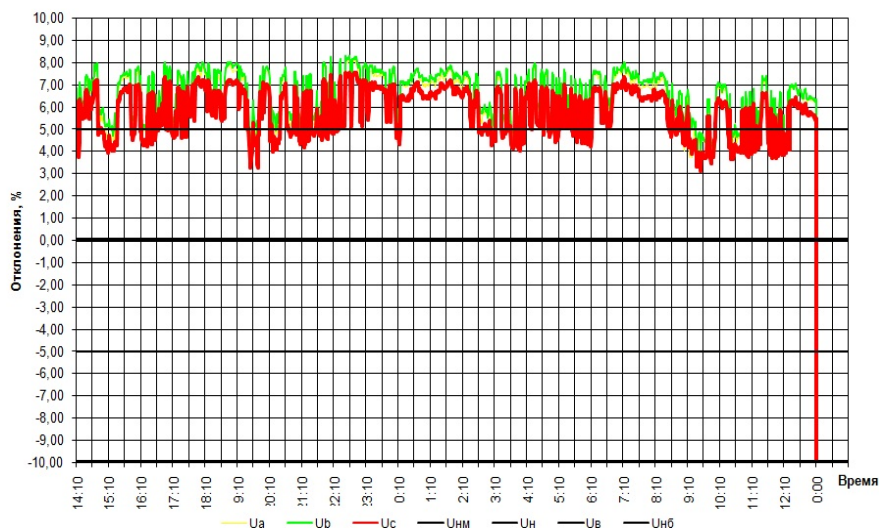


Рис. 1. Отклонение фазных напряжений

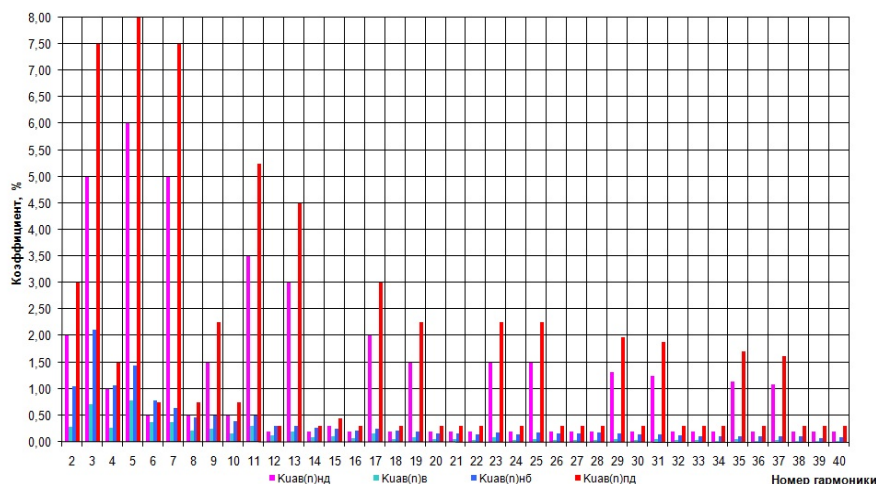


Рис. 2. Коэффициенты n-х гармонических составляющих напряжения

В соответствии с п. 3.2.17 ПТЭЭП «Дуговые электропечи должны быть оснаще-

ны устройствами, не позволяющими ухудшать качество электрической энергии на границе, определенной договором на электроснабжение» Эксплуатация электродуговых печей без ФКУ не допускается.

Внедрение ФКУ позволит:

- осуществлять возврат реактивной составляющей в сеть и, как следствие, исключить платежи за превышение потребления реактивной мощности сверх лимита, при условии интенсивной работы печи;
- улучшить показатели качества напряжения;
- исключить посадки напряжения при работе ДСП.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Пронин В.И.

Ульяновский государственный технический университет

E-mail: bermud-ru@mail.ru

Согласно документу «Концепция развития теплоснабжения в России, включая коммунальную энергетику, на среднесрочную перспективу. Официальная информация Минэнерго РФ» [1] от 2000 года, в России «суммарная протяженность тепловых сетей в двухтрубном исчислении составляет около

183300 км», «средний процент износа теплосетей оценивается в 60-70 %. По экспертной оценке 15 % тепловых сетей требуют безотлагательной замены... Для приведения системы транспорта теплоносителя в надежное состояние необходимо капитально отремонтировать или построить заново 150 тыс. км теплотрасс в двухтрубном исчислении».

Одной из проблем теплоснабжения в Российской Федерации является снижение теплоотдачи отопительных приборов и теплообменных аппаратов из-за накопления окислов и солей металлов.

В результате:

1. Суммарные потери тепловой энергии в системе составляют до 30 %:

- растут потери тепловой энергии и теплоносителя;
- растут затраты электрической энергии на циркуляцию теплоносителя;
- снижается КПД источника тепловой энергии из-за повышения температуры обратной воды.

2. Сокращается нормативный срок эксплуатации внутридомовых тепловых сетей и оборудования с 30 до 10 лет.

В масштабах страны это приводит к вынужденным расходам на внеплановые капитальные ремонты на сумму более 23 млрд руб. ежегодно. Основные требования к любой отопительной системе — надежность, долговечность, эффективность, экономичность. Новые, только смонтированные и испытанные системы централизованного и индивидуального отопления работают без сбоев в соответствии с проектной мощностью. По прошествии некоторого времени наблюдается недостаточная теплоотдача, увеличивается расход топлива и электроэнергии.

Практика показывает, что трубопроводы систем отопления в зданиях, где не проводятся профилактические работы более 10 лет, на 40-50 % забиты окислами и солями металлов. Накипь создает термическое сопротивление теплоносителю, что ведет к снижению теплоотдачи, а это, в свою очередь, приводит к ухудшению комфортных условий для проживания жильцов. Поскольку теплопроводность накипи в 40 раз ниже теплопроводности металла в системах отопления, отложения толщиной всего 1 мм снижают теплоотдачу на 15 %. Если процесс не остановить вовремя, произойдет выход из строя теплообменников, трубопроводов, отопительных приборов. Из всех существующих методов, связанных с профилактическими работами по поддержанию теплового оборудования в рабочем состоянии, в России традиционно, уже на протяжении десятилетий, применяются:

- механическая очистка;
- химическая промывка;
- гидравлическая промывка.

Данные методы имеют достаточно низкий КПД и значительные ограничения по применению. Главное ограничение по применению состоит в том, что методы можно использовать только в межсезонный период, когда теплоноситель не подается в теплоцентрали. В среднем по России этот период длится всего 3-5 месяцев. В северных территориях России осенне-зимний период закан-

чивается в конце июня и начинается в середине сентября. Помимо усовершенствования метода промывки внутридомовых тепловых сетей и теплообменного оборудования, большое значение имеет реагент, которым промывается объект. В настоящее время шлам удаляется при помощи химической промывки с использованием кислотных и щелочных реагентов. Помимо экологической опасности, данные реагенты негативно влияют на трубы, так как вступают в реакцию с металлом, что приводит к его разрушению. В настоящее время в России, помимо технологии «Савант», не существует химических реагентов, позволяющих эффективно удалять отложения, не вступая в реакцию с металлами и уплотнительными материалами.

Другой проблемой теплоснабжения являются тепловые потери в трубопроводах теплосети, которые в системах центрального теплоснабжения имеют большую протяженность. Схемы и средства транспортировки теплоносителя в системах централизованного теплоснабжения, построенные в СССР, характеризуются недостаточной надежностью, высокой повреждаемостью трубопроводов тепловой сети и большими тепловыми потерями в них [2].

По различным оценкам [3], потери тепла при транспортировке теплоносителя составляют от 10 % до 30 % и более. В тепловых сетях теряется вся экономия от комбинированной выработки тепла и электроэнергии на ТЭЦ. В связи с этим, вопросы, связанные с анализом тепловых потерь в трубопроводах теплосети, приобретают особенную актуальность.

Основными причинами увеличения тепловых потерь в трубопроводах являются нарушение целостности и деформация изоляционного слоя, износ изоляционного материала, а с учетом большой протяженности трубопровода тепловые потери достигают достаточно больших значений [4].

Наиболее эффективным, но дорогим способом оптимизации тепловых потерь, является замена трубопроводов, что по сути лишь отсрочит проблему на несколько десятилетий. Поэтому при полной замене трубопроводов нужно провести ряд мероприятий для предотвращения износа теплосети. К таковым можно отнести тщательную и качественную подготовку сетевой воды за неимением эффективных средств борьбы с накипью. Возможно создание резервных «обходных» веток теплосети для временного использования при проведении профилактических работ на основной ветке теплосети. Однако такие меры очень затратные.

Таким образом, можно выделить основные цели и задачи оптимизации тепловых потерь в системах централизованного теплоснабжения:

- улучшение качества подготовки сетевой воды для снижения отложений солей металлов в трубопроводах;
- поиск новых средств и методов прочистки трубопроводов от солей металла;
- поиск решений защиты теплоизоляционных конструкций от механических повреждений и деформаций, поиск более эффективных теплоизоляционных материалов;
- устранение и предотвращение затопления подземных каналов с трубопроводами сточными водами;

- поиск решений для регулярного проведения профилактических работ на трубопроводах теплосети и внутридомовых трубопроводов;

Достижение хотя бы одной цели по оптимизации тепловых потерь уже существенно приведет к снижению тепловых потерь и к увеличению КПД источников тепла, а значит и к снижению расхода топлива на них, что является главной задачей энергосбережения. Принятие каких-либо мер неотлагательно в виду критического состояния участков теплосети большой протяженности.

*Библиографический список*

1. Михайлов С.А., Клименко А.В., Извеков А.В. Концепция развития теплоснабжения в России, включая коммунальную энергетику, на среднесрочную перспективу: Официальная информация Минэнерго РФ. М., 2000.
2. Слепченко В.С., Петраков Г.В. Повышение энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей северных и северо-восточных регионов России // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 4 (22). С. 26-32.
3. Кузнецов Л.А., Григорьева Л.А. Определение потерь тепловой энергии через изоляцию трубопроводов теплофикационной воды в результате тепловых испытаний // Новости теплоснабжения. 2006. № 3. С. 51-52.
4. Байбаков С.А., Тимошкин А.С. Основные направления повышения эффективности тепловых сетей // Электрические станции. 2004. № 7. С. 19-25.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ В КИПАЮЩЕМ СЛОЕ

*Прошин А.С., Мунц Ю.Г.  
УрФУ, a\_s\_p@planet-a.ru*

Динамика образования оксидов азота в кипящем слое в процессе выгорания частиц твердых топлив изучалась на экспериментальной установке, представляющей собой электропечь с цилиндрической камерой нагрева внутренним диаметром 50 мм и с вваренным в днище воздухораспределительным колпачком. В экспериментах контролировалась температура кипящего слоя и расход воздуха, а также непрерывно измерялся состав продуктов сгорания с помощью газоанализаторов ГИАМ-14 (CO<sub>2</sub>), Бекман 951 А (NO<sub>x</sub>), ГАММА-100 (CO). Характеристика используемых топлив приведена в таблице.

Показатель	Единица измерения	Подмосковный уголь	Донецкий антрацит	Березовский уголь	Кузнецкий тощий уголь	Кокс
A <sup>r</sup>	%	46,9	38,5	3,5	26,4	13,9
W <sup>r</sup>	%	6,02	3,09	36,9	1,37	0,18
Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>	МДж/кг	13,07	19,96	15,5	25,23	28,3
V <sup>daf</sup>	%	49,6	10,72	47,7	12,21	0,52
H <sup>r</sup>	%	2,2	1,83	2,76	2,87	0,32
N <sup>r</sup>	%	0,28	0,65	0,64	1,44	1,4
O <sup>r</sup>	%	9,64	1,44	12,2	2,13	0,17
S <sup>r</sup>	%	2,2	2,28	0,35	0,51	0,48
C <sup>r</sup>	%	32,66	51,22	43,6	64,69	83,6



Для всех углей наблюдается корреляция между изменениями концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$ : в период горения летучих происходит синхронное, резкое увеличение концентраций  $C_{\text{NO}_x}$  и  $C_{\text{CO}_2}$ , а на стадии горения коксового остатка постепенное их уменьшение до нуля. При сжигании топлив с незначительным содержанием летучих: антрацита, отсева кокса и полукокса кузнецкого угля максимум концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$  выражен не так ярко, оксиды азота и углерода образуются более равномерно. Сходство профилей концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$  свидетельствует об одинаковых закономерностях их образования при горении коксовой части углей.

Для количественной оценки образования  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$  рассчитывались их относительные массы  $m_{\text{NO}_x}$  ( $m_{\text{CO}_2}$ ), выделяющиеся к определенному моменту времени  $\tau$ :

$$m_{\text{NO}_x}(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} C_{\text{NO}_x} \cdot d\tau}{\int_0^{\tau_{\Gamma}} C_{\text{NO}_x} \cdot d\tau}; \quad m_{\text{CO}_2}(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} C_{\text{CO}_2} \cdot d\tau}{\int_0^{\tau_{\Gamma}} C_{\text{CO}_2} \cdot d\tau}$$

здесь  $\tau_{\Gamma}$  — полное время выгорания навески топлива, определяемое экспериментально.

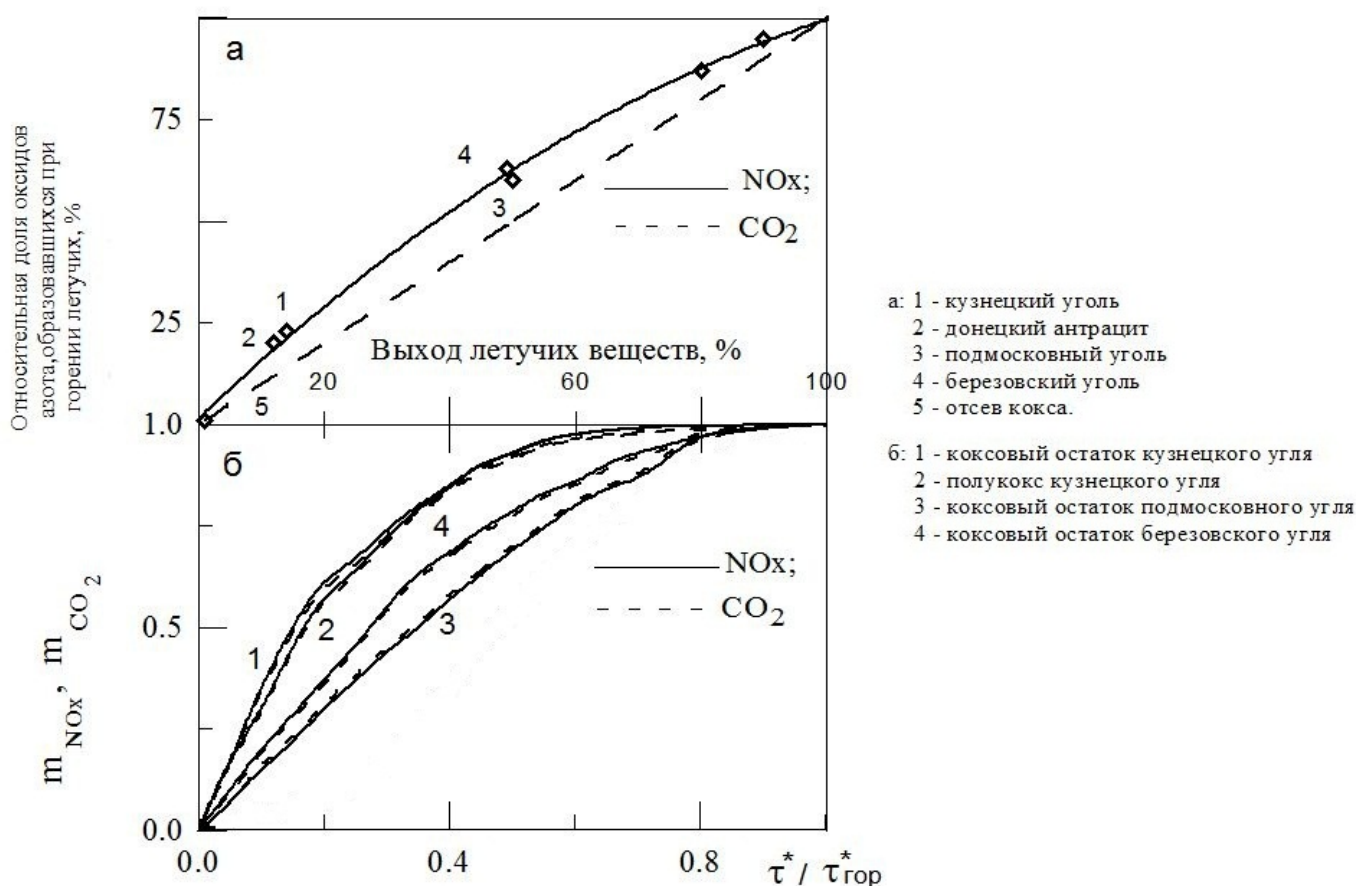
В большинстве существующих методик расчета полагается, что подавляющая часть азотсодержащих соединений разлагается при выходе летучих. Однако, полученные экспериментальные данные (рисунок) свидетельствуют о том, что в исследованном диапазоне температур пренебрежение образованием оксидов азота при окислении коксового остатка углей неправомерно, особенно для топлив с низким выходом летучих.

В ряде работ отмечается, что угольная частица состоит из сложных молекулярных комплексов, в которых атомы азота и углерода тесно связаны, и при горении, когда происходит разрушение молекулярных связей, атомы С и N освобождаются одновременно в определенных пропорциях и, реагируя с кислородом, образуют в конечном итоге  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$  в пропорциональных количествах. Отсюда следует, что рассматривать процессы горения углерода и образования оксидов азота нужно вместе, и механизмы этих процессов должны быть во многом схожи.

Кроме того, обработка экспериментальных данных с разделением процесса горения угольной частицы на 2 стадии: выхода и горения летучих веществ и горения коксового остатка позволила получить корреляцию кривых  $m_{\text{NO}_x}$  и  $m_{\text{CO}_2}$  отдельно для каждой стадии. Рисунок (б) иллюстрирует практическое совпадение зависимостей  $m_{\text{NO}_x}$  и  $m_{\text{CO}_2}$  от относительного времени горения  $(\tau^* / \tau_{\Gamma}^*)$  на всем протяжении горения коксовой части углей (кривые 1-4) и ле-

тухих (кривая 5). Величина ( $\tau^* / \tau_{\Gamma}^*$ ) изменяется от 0 до 1; при рассмотрении летучих под ней понимается относительное время выхода и горения летучих ( $\tau^*$  принимает значения от 0 до  $\tau_{\Gamma}$ ), а при рассмотрении коксового остатка – относительное время догорания коксового остатка (при этом  $\tau^*$  принимает значения от  $\tau_{\Gamma}$  до  $\tau_{\Gamma}$ ).

Исходя из практически точного совпадения зависимостей выхода  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$  от времени для различных стадий горения топлив и существенного различия закономерностей горения летучих и кокса, в ходе исследования был сделан вывод о необходимости отдельного изучения закономерностей образования оксидов азота для стадий горения летучих веществ угольной частицы и коксового остатка.



Зависимость доли оксидов азота, образовавшихся из летучих, выхода оксидов азота и диоксида углерода от содержания летучих в исходном топливе на стадиях горения летучих и коксового остатка

Полученные данные по динамике образования оксидов азота позволяют рассчитать выбросы оксидов азота при сжигании твёрдых топлив в топках котлов, определить режимные параметры топочного процесса, приводящие к снижению выбросов, оптимизировать этот процесс и уменьшить экологическую нагрузку при проектировании современных экологически чистых тепловых электрических станций.

# ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ ПОДОГРЕВА ТЯЖЕЛЫХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ С ПЕРЕМЕННЫМИ ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Решетникова В.И., Попов Д.Н., Варфоломеева О.И., Хворенков Д.А.  
Ижевский государственный технический университет, tguug@istu.ru

В настоящее время все большее распространение получает метод высокочастотного индукционного подогрева тяжелых жидких топлив (рис. 1). Вместе с тем, эффективность данного способа можно повысить, используя нагревательные элементы, расположенные непосредственно в трубопроводе (рис. 2). Такие элементы, хотя и создают дополнительные сопротивления потоку, но в то же время способствуют более интенсивному теплообмену. Положение усугубляется еще и тем, что некоторые виды нефтепродуктов (например, мазут М100) в определенном диапазоне температур приобретают неньютоновские свойства. Указанные обстоятельства предопределяют необходимость настоящего расчетного исследования.

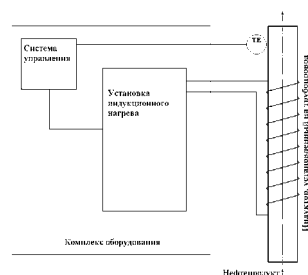


Рис. 1. Традиционная схема подогрева

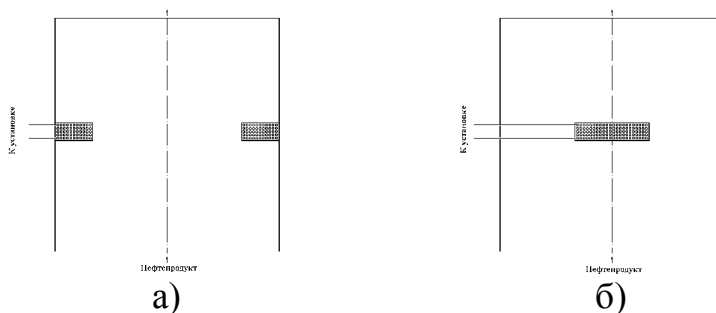


Рис. 2. Предлагаемые схемы подогрева:  
а) нагревательные элементы в виде выступов;  
б) нагревательные элементы в виде центрального тела

Для расчета процессов гидродинамики и теплообмена, происходящих в классических системах хранения и подачи жидкого топлива, авторами применялась математическая модель [1], разработанная на основе двухмерных нестационарных уравнений Навье-Стокса, записанных в естественных (скорость-давление) переменных. В настоящей статье рассматривается несколько иной подход, основанный на использовании уравнений динамики несжимаемой ( $\rho = const$ ) неньютоновской жидкости в преобразованных ( $\omega$  - завихренность,  $\psi$  - функция тока) переменных и степенного реологического закона:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \xi_x \frac{\partial(u\omega)}{\partial \xi} + \eta_y \frac{\partial(v\omega)}{\partial \eta} &= \frac{\xi_x^2}{\rho} \frac{\partial^2(\mu_{eff}\omega)}{\partial \xi^2} + \frac{\xi_{xx}}{\rho} \frac{\partial(\mu_{eff}\omega)}{\partial \xi} + \frac{\eta_y^2}{\rho} \frac{\partial^2(\mu_{eff}\omega)}{\partial \eta^2} + \\ &+ \frac{1}{\rho} \left( \eta_{yy} - \frac{\eta_y}{y} \right) \frac{\partial(y\mu_{eff}\omega)}{\partial \eta} - \beta g \eta_y \frac{\partial T}{\partial \eta}, \\ \xi_x^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial \xi^2} + \xi_{xx} \frac{\partial \psi}{\partial \xi} + \eta_y^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial \eta^2} + \left( \eta_{yy} - \frac{\eta_y}{y} \right) \frac{\partial \psi}{\partial \eta} &= -\omega \cdot y, \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \xi_x \frac{\partial(uT)}{\partial \xi} + \frac{\eta_y}{y} \frac{\partial(yvT)}{\partial \eta} &= a \left[ \xi_x^2 \frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2} + \xi_{yy} \frac{\partial T}{\partial \xi} + \eta_y^2 \frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2} + \left( \eta_{yy} + \frac{\eta_y}{y} \right) \frac{\partial T}{\partial \eta} \right] + \frac{\mu_{eff}}{cr} \Phi, \end{aligned} \quad (1)$$

$$u = \frac{\eta_y}{y} \frac{\partial \psi}{\partial \eta}, \quad v = -\frac{\xi_x}{y} \frac{\partial \psi}{\partial \xi},$$

где  $u$  и  $v$  - проекции вектора скорости по осям  $x$  и  $y$  соответственно;  $T$  - температура;  $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ ,  $\lambda$  и  $\beta$  - коэффициенты теплопроводности, теплоемкости и температурного расширения жидкости;  $c$  - теплоемкость  $\mu_{eff} = k\Phi^{0,5(n-1)}$  - эффективная вязкость;  $k = \rho \{ \exp_{10} [\exp_{10} (9,855 - 3,745 \lg T) - 0,8] \cdot 10^{-6} \}$  и  $n = n_{T \geq 323K} - \frac{n_{T \geq 323K} - n_{T=298K}}{323 - 298} (323 - T)$  - мера консистенции и показатель неньютоновского поведения жидкости;  $\Phi = 2 \left[ \left( \xi_x \frac{\partial u}{\partial \xi} \right)^2 + \left( \eta_y \frac{\partial v}{\partial \eta} \right)^2 + \left( \frac{v}{y} \right)^2 \right] + \left( \eta_y \frac{\partial u}{\partial \eta} + \xi_x \frac{\partial v}{\partial \xi} \right)^2$  - интенсивность сдвиговых деформаций;  $n_{T \geq 323K}$  и  $n_{T=298K}$  - показатели степени, которые для мазута марки М100 со средним парафиносодержанием составляют соответственно 1 и 0,783.

За счет введения новых независимых переменных  $\xi$  и  $\eta$  система (1) с коэффициентами  $\xi_x$ ,  $\eta_y$ ,  $\xi_{xx}$ ,  $\eta_{yy}$  (где  $\xi_x = \frac{\partial \xi}{\partial x}$  и т. д.) адаптирована для расчетных областей, покрытых прямолинейной ортогональной неравномерной сеткой со сгущением узлов в продольном и поперечном направлениях в местах, где ожидаются большие градиенты искомых величин. Кроме того, система уравнений дополняется начальными и граничными условиями.

Расчетная модель тестировалась на основе аналитических решений течения неньютоновской теплопроводной жидкости в прямолинейном трубопроводе. Во всех вариантах сравнения относительная погрешность результатов не превышала 0,15 %.

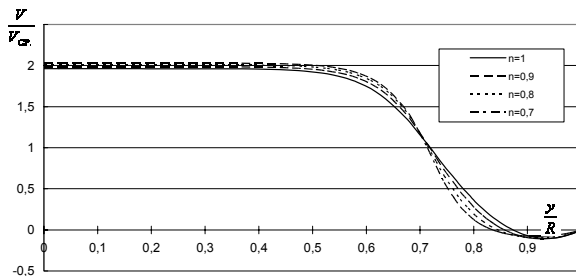


Рис. 3. Изменение продольной скорости по радиусу трубы за препятствием в виде выступа

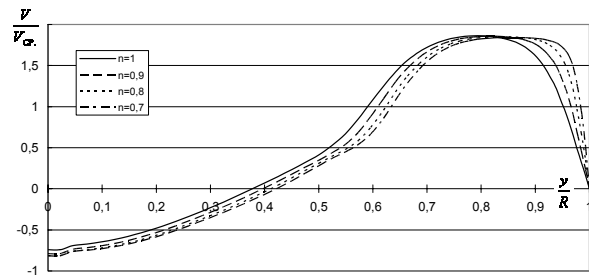


Рис. 4. Изменение продольной скорости по радиусу трубы за препятствием в виде центрального тела

Как следует из рис. 3, при снижении показателя  $n$  наблюдается увеличение осевой составляющей скорости примерно до уровня среза препятствия. В силу баланса массового расхода это приводит увеличению циркуляционной области в продольном направлении. При движении жидкости за цилиндрическим центральным телом уменьшение  $n$  приводит к более существенным градиентам скорости вблизи стенки, в то время как аналогичные изменения вблизи оси симметрии в области возвратно-циркуляционного течения становятся менее заметными, начиная с  $n = 0,8$ .

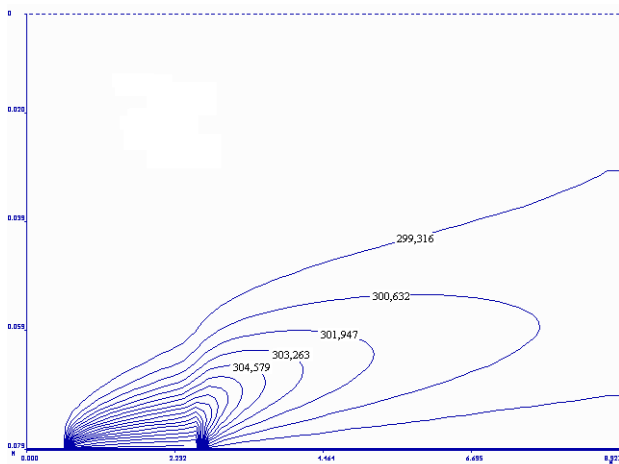


Рис. 5. Распределение температуры в области с подогреваемой вставкой

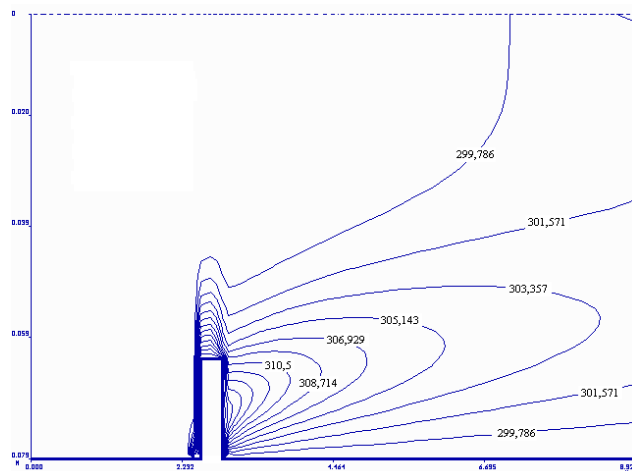


Рис. 6. Распределение температуры в области с подогреваемым выступом

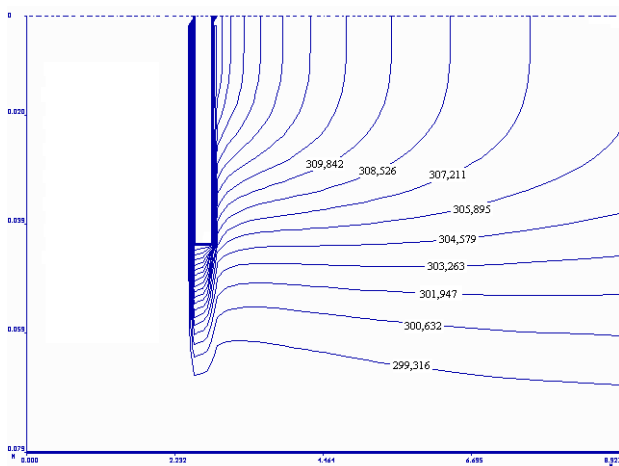


Рис. 7. Температурное поле в области с подогреваемым центральным телом

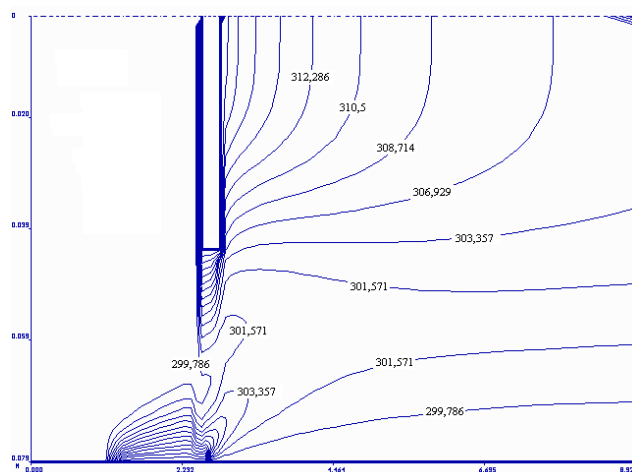


Рис. 8. Температура поле при комбинированном подогреве

На рис. 5-8 показаны распределения температуры для различных случаев подогрева мазута с переменными  $k$  и  $n$ . Из рисунков следует, что для вариантов с местными сопротивлениями в виде выступа или центрального тела распространение тепла происходит более интенсивно. Особенно рациональным для подогрева мазута представляется комбинирование рассмотренных способов. Так, использование подогреваемой вставки совместно с центральным телом позволяет исключить непрогретые зоны.

#### *Библиографический список*

1. Варфоломеева О.И., Попов Д.Н. Численное моделирование неизо термических течений жидкого топлива с переменной вязкостью в теплоэнергетическом оборудовании // Промышленная энергетика. 2011. № 12. С. 11-13.

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОДА КОТЛОВ ДКВР НА ГАЗООБРАЗНОЕ ТОПЛИВО

Салова Е.С.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
salovae@inbox.ru

Благодаря низким ценам на газ, на сегодняшний день газовые котельные в России пользуются большим спросом. У котельной, сжигающей газообразное топливо, по сравнению с котельной, работающей на жидком топливе, имеются неоспоримые преимущества:

- помещение газифицированной котельной отвечает санитарно-гигиеническим требованиям;
- газообразное топливо быстрее и проще зажигается;
- обеспечивается полнота сгорания газообразного топлива.

Сжигание газообразного топлива дает и ощутимые эксплуатационные выгоды:

- во-первых, котлы, сжигающие газообразное топливо, имеют минимальное время приготовления к работе из холодного состояния в рабочее;
- во-вторых, эксплуатация газового хозяйства, более простая по сравнению с эксплуатацией жидко-топливного хозяйства;
- в-третьих, подача газа к котельной установке требует меньших затрат, чем аналогичные технологические операции для жидкого топлива;
- в-четвертых, при горении природного газа происходят меньшие выбросы оксидов азота и диоксида серы и практически никаких частиц пепла и сажи, а также гораздо меньшие объемы диоксида углерода, монооксида углерода и реактивных гидрокарбонатов и бензопирена.

Газомазутные котельные агрегаты ДКВР-2,5; 4; 6,5; 10; 20 (рисунок) с газомазутными топками предназначены для выработки насыщенного или перегретого пара, идущего на технологические нужды промышленных предприятий, в системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Преимущества котлов ДКВР:

- надежная гидравлическая и аэродинамическая схема работы котла обеспечивает высокий КПД – до 91 %;
- низкий уровень затрат на эксплуатацию и обслуживание;
- котел ДКВР имеет сборную конструкцию, что позволяет монтировать его в котельной, не разрушая стен, и быстро подключить к уже существующим системам;
- возможен перевод котла с одного вида топлива на другой.

Конструктивная схема котлов серии ДКВР паропроизводительностью до 10 т/ч одинаково независима от используемого топлива и применяемого топочного устройства. Котел имеет верхний длинный и нижний короткий барабаны, расположенные вдоль оси котла, экранированную топочную камеру и развитый кипяточный пучок из гнутых труб.

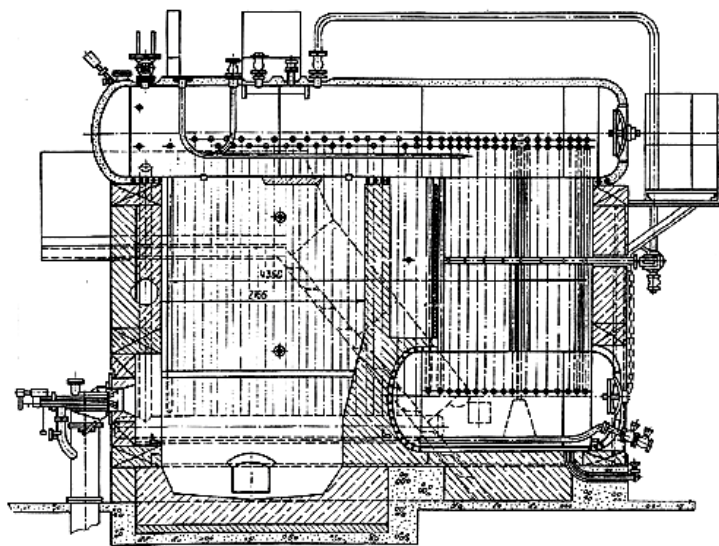


Схема котла ДКВР,  
продольный разрез

Для устранения затягивания пламени в пучок и уменьшения потерь с уносом и химическим недожогом топочная камера котлов ДКВР-2,5; ДКВР-4; ДКВР-6,5 делится шамотной перегородкой на две части: собственно топку и камеру догорания. На котлах

ДКВР-10 камера догорания отделяется от топки трубками заднего экрана. Между первым и вторым рядами труб котельного пучка всех котлов также устанавливается шамотная перегородка, отделяющая пучок от камеры догорания. Внутри котельного пучка имеется чугунная перегородка, которая делит его на первый и второй газоходы и обеспечивает горизонтальный разворот газов в пучках при поперечном омывании труб.

В качестве жидкого топлива для отопительных котлов принимается мазут. Сжигание мазута в топках котлов осуществляется во взвешенном мелкораспыленном состоянии при хорошем смешивании с воздухом. Для распыления мазута применяются специальные форсунки.

В котельных, работающих на мазуте, топливное хозяйство состоит из приемных устройств для мазута, мазутохранилищ, подогревателей, системы мазутопроводов и насосов для перекачки и подачи его в котельную. Мазут хранится в наземных железобетонных или металлических резервуарах, приспособленных для приема, подогрева и выдачи мазута, а также удаления воды. Емкость резервуаров зависит от суточного расхода и устанавливается при доставке мазута. Мазутохранилища являются объектами повышенной опасности и к ним предъявляются специальные требования согласно Правилам техники безопасности и Правилам технической эксплуатации тепловых энергоустановок.

Особенности применения мазута – мазут перекачивается только при подогреве его на 15 °С выше температуры застывания. Эффективным считается метод циркуляционного разогрева: мазут забирается из нижней части резервуара и мазутным насосом направляется в подогреватель. Затем подогретый мазут возвращается обратно в резервуар через специальный низко расположенный коллектор с насадками.

Топки для сжигания газа по своему устройству аналогичны топкам для сжигания жидкого топлива. В них можно одновременно сжигать газ и мазут. При сжигании газообразного топлива основным элементом топочного устройства служит газовая горелка, обеспечивающая подачу в топочную камеру газа и воздуха в необходимом соотношении, их интенсивное перемешивание и быстрое зажигание газозоудушной смеси. Для котлов ДКВР на жидком топливе

используют камерные топки, а при сжигании в них газового и жидкого топлива – комбинированные газомазутные горелки, которые устанавливаются с фронта котла. Наиболее широко применяются горелки ГМГм, позволяющие быстрый переход с мазута на газовое топливо без каких-либо переделок в топке.

К комбинированным горелкам предъявляют следующие требования:

- при обеспечении заданного технологического режима горелки должны обеспечить минимальное количество вредных выбросов в атмосферу;
- уровень шума, создаваемого горелкой, не должен превышать 85 дБ при измерении шумомером на расстоянии 1 м от горелки и на высоте 1,5 м от пола;
- горелки должны устойчиво работать без отрыва и проскока пламени в пределах расчетного диапазона регулирования тепловой мощности;
- для уменьшения эксплуатационных расходов конструкция горелки и стабилизирующие устройства должны быть достаточно просты в обслуживании, удобны для ревизии и ремонта;
- при необходимости сохранения резервного топлива горелки должны обеспечивать быстрый перевод агрегата с одного топлива на другое без нарушения технологического режима;
- комбинированные газомазутные горелки должны обеспечивать примерно одинаковое качество сжигания обоих видов топлива – газового и жидкого (мазута).

Перевод котлов ДКВР с жидкого на газообразное топливо позволит решить проблемы, связанные с особенностями применения и хранения жидкого топлива, исключить дополнительные энергозатраты, а также значительно уменьшить загрязнение окружающей среды.

## **ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В КАНАЛЕ С ВНЕЗАПНЫМ РАСШИРЕНИЕМ**

*Самиева А.Ж., Зиганшин А.М.*

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет  
amizganshin@kgasu.ru*

При расчете и проектировании любых трубопроводных систем – отопление, вентиляция, газо- и теплоснабжение важным вопросом является правильный учет и расчет потерь давления, возникающих в местных сопротивлениях – возмущающих элементах (ВЭ). Это позволяет правильно произвести гидравлический (аэродинамический) расчет системы, что обеспечивает ее правильную работу при минимально необходимых (без необоснованных запасов по давлению) затратах энергии.

В современном промышленном производстве возможно изготовление фитингов практически любой геометрии, в том числе специальной энергосберегающей (безотрывной) формы – с кромками, выполненными по специальным кривым. При этом значения коэффициентов местных сопротивлений таких фитингов зачастую неизвестны, как зачастую неизвестны и формы таких кривых. Существуют как аналитические, так и экспериментальные работы, посвящен-



ные исследованию потерь давления в местных сопротивлениях, например [1, 2]. И лишь в некоторых определяются формы отрывных зон, возникающих в возмущающих элементах [3, 4].

Экспериментальное исследование подобных течений затруднено большим количеством возможных конфигураций фитингов трубопроводных систем и сложностью фиксации и обработки результатов опытов, аналитическое – сложностью математического описания возникающего в такой области течения. Широко распространенное в настоящее время компьютерное моделирование позволяет избежать всех этих сложностей. Можно смоделировать большое количество вариантов исследуемого возмущающего элемента, программные комплексы позволяют получить подробные картины полей всех рассчитываемых величин. Но при этом возникает необходимость в верификации получаемого численного решения, т.е. обеспечения адекватности получаемого численного решения реальному явлению. Поэтому на первом этапе любого численного исследования необходимо провести решение тестовой задачи (решение которой достоверно известно) для настройки численной схемы (компьютерной модели).

В данной работе проводится решение тестовой задачи о течении воздуха в канале с внезапным расширением. Падение давления в таком ВЭ подчиняется теореме Борда-Карно, а коэффициент местного сопротивления можно определить по формуле [5]:

$$\zeta = \Delta P / P_{\text{д1}} (1 - F_1 / F_2)^2, \quad (1)$$

здесь  $\Delta P$  – падение полного давления в ВЭ,  $P_{\text{д1}} = \rho \cdot u_1^2 / 2$  – динамическое давление в узком сечении канала,  $F_1$  и  $F_2$  – соответственно, площадь (ширина) узкого и широкого сечения канала.

Задача решается в двухмерной, турбулентной постановке при помощи программного комплекса вычислительной гидродинамики – Fluent. Геометрия изображена на рис. 1.

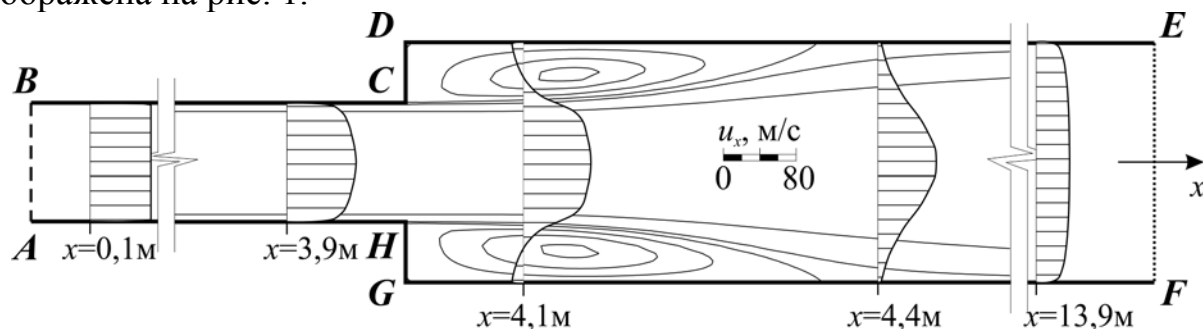


Рис. 1. Геометрия канала

На отрезке **AB**: граничное условие – равномерный профиль скорости ( $u_1 = 68$  м/с, ширина  $b_1 = 0,1$  м), на границе **EF** – свободная граница (избыточное давление равно нулю, ширина  $b_2 = 0,2$  м). Остальные границы – твердая непроницаемая стенка. Длина канала до ВЭ  $l_1 = 4$  м (40 калибров по узкому сечению), после  $l_2 = 10$  м (100 калибров по узкому сечению). Для замыкания уравнений, осредненных по Рейнольдсу, уравнений Навье-Стокса используется «стандартная» k-ε модель турбулентности со стандартными пристеночными функциями.

При проверке на сеточную зависимость было проведено решение на сетках с различной степенью мелкости расчетных ячеек. Варианты сеток были получены последовательным измельчением исходной сетки (ячейка – квадрат со стороной 0,05 м) во всей области. При достижении размера ячейки 0,0125 м, измельчение далее проводилось по твердым границам области, до достижения значения безразмерного геометрического параметра  $y^+ = 16,3$ . Рекомендуемое значение этого параметра, для правильного моделирования течения вблизи стенки, должно составлять [6]  $5 < y^+ < 30$ . Размер пристеночной ячейки при этом составил  $9,77 \cdot 10^{-5}$  м.

На рис. 1 с использованием результатов расчета на последнем варианте расчетной сетки построены очертания зон отрыва, образующихся в углах внезапного расширения, а также эпюры скоростей в некоторых характерных сечениях. На рис. 2 изображено изменение полного, статического и динамического давлений по длине канала. Согласно численному расчету полное давление на входе в канал  $P_{п1} = 2457,16$  Па, на выходе –  $P_{п2} = 717,06$  Па; среднее удельное падение давления на участке до ВЭ  $R_{уд1} = 186,16$  Па/м, после ВЭ –  $R_{уд2} = 27,5$  Па/м. Потери давления на трение в канале:

$$\Delta P_{тр} = R_{уд1} \cdot l_1 + R_{уд2} \cdot l_2 = 186,16 \cdot 4 + 27,5 \cdot 10 = 1019,6 \text{ Па.}$$

Коэффициент местного сопротивления ВЭ определится как:  $\zeta = P_{п1} - P_{п2} - \Delta P_{тр} / P_{д1}$ , где  $P_{д1} = \rho \cdot u_1^2 / 2 = 1,225 \cdot 68^2 / 2 = 2832,2$  Па – динамическое давление, определенное по узкому сечению. Тогда КМС составит  $\zeta = 2457,16 - 717,06 - 1019,6 / 2832,2 = 0,255$ . Согласно формуле (1) [5] для такого ВЭ  $ж = 0,25$ .

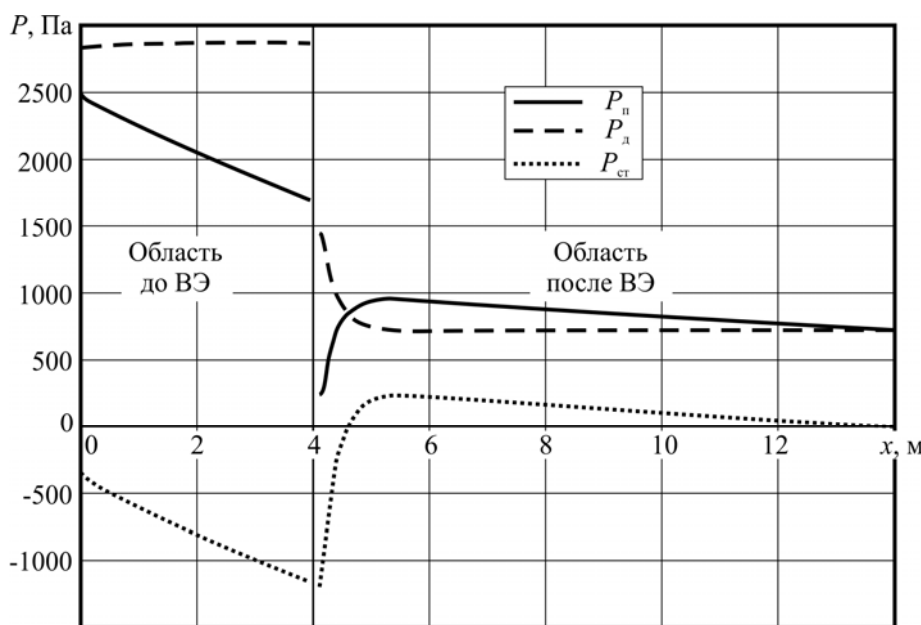


Рис. 2. Изменение давлений по длине канала

Видно хорошее совпадение результатов численного решения с известными данными, что подтверждает адекватность использованной компьютерной модели и позволяет использовать ее для

исследования ВЭ других конфигураций.

#### Библиографический список

1. Dekam E., Calvert J. Pressure losses in sudden transitions between square and rectangular ducts of the same cross-sectional area // International Journal of Heat and Fluid Flow. 1988. Vol. 9. № 1. P. 2–7.

2. Crawford N. et al. A numerical investigation of the flow structures and losses for turbulent flow in 90° elbow bends // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering. 2009. Vol. 223. № 1. P. 27–44.
3. Шулекина, Е.И. Расчет поля скорости в полости, из которой отсасывается воздух / Е.И. Шулекина, В.Н. Посохин, А.М. Зиганшин // Изв. ВУЗов. Строительство. 2001. № 4. С. 81–84.
4. Zmrhal V., Schwarzer J. Numerical simulation of local loss coefficients of ventilation duct fittings // Eleventh International IBPSA Conference July 27–30, 2009. Glasgow, Scotland, 2009. Vol. i. P. 1761–1766.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. / под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
6. ANSYS FLUENT 6.3 Documentation [Электронный ресурс]. URL: [http://hpce.iitm.ac.in/website/Manuals/Fluent\\_6.3/fluent6.3/help/html/ug/node518.htm#sec-guidelines-wf](http://hpce.iitm.ac.in/website/Manuals/Fluent_6.3/fluent6.3/help/html/ug/node518.htm#sec-guidelines-wf) (дата обращения: 04.12.2012).

## **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ НУЖД ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*Самойленко В.О., Паздерин А.В., Кокин С.Е.  
УрФУ, vvsamoylenko@yandex.ru, pav@daes.ustu.ru, kokinser@list.ru*

Высокие темпы роста электропотребления мегаполиса за последние годы приводят к необходимости масштабной реконструкции существующих электрических сетей питания. Особенно серьезное положение сложилось в центральных районах города, где удельная плотность электрических нагрузок очень высока и где существует большое число ограничений по ремонтно-строительным работам и по наличию свободных участков земли.

Другой проблемой городского освещения является несинусоидальный характер потребляемой мощности, а также наведенного напряжения, наличие помех [1]. Это связано со следующими технологиями:

1. Светодиодные лампы используют постоянный ток, и в каждую такую лампу встраивается выпрямитель, преобразующий переменный ток в постоянный, что существенно удорожает светодиодные светильники, снижает их надежность и энергоэффективность.

2. Современная компьютерная и офисно-бытовая техника использует постоянный ток, и для его получения используются блоки питания, осуществляющие выпрямление переменного тока.

3. Солнечные батареи вырабатывают энергию на постоянном токе и затем через инверторы преобразуют ее в переменный ток.

4. Аккумуляторные батареи находят все более широкое применение в быту и электротранспорте, и для их зарядки используются выпрямители.

Проблемой является применение большого числа выпрямителей, преобразующих переменный ток в постоянный, инверторов, осуществляющих обратное преобразование, а также импульсных блоков питания.

Эффективным решением является проектирование и внедрение в систему городского электроснабжения электрических сетей постоянного тока. Сети постоянного тока включают в себя совокупность электроустановок постоянного тока, линий электропередачи для питания освещения, накопителей постоянного

тока (аккумуляторов), полупроводниковой преобразовательной техники для связи с сетью переменного тока, коммутационной и управляющей аппаратуры. Результат внедрения является воплощением концепции Smart Grid, соответствует требованиям ISO/IEC и отечественным нормативным документам, в том числе на освещение [2].

Создание сетей постоянного тока для нужд непосредственного питания освещения, офисной техники и перевод существующих на постоянный ток является эффективным решением:

- отсутствие недешевых блоков питания и потерь в них;
- отсутствие реактивной мощности на постоянном токе в принципе;
- отсутствие проблем с высшими гармониками – ресурсом изоляции проводки и оборудования, электромагнитной совместимостью;
- возможность использовать низкие уровни напряжения  $\pm(12-48)$  В – улучшение пожаробезопасности и электробезопасности в целом;
- поддержка непосредственной интеграции возобновляемых и альтернативных источников энергии (солнечные батареи и ветрогенераторы), подавляющее большинство которых вырабатывает электроэнергию на постоянном токе и далее инвертирует ее.

Принципиально важной особенностью является установка в сеть накопителей постоянного тока. Аккумуляторные батареи заряжаются по дешевому ночному тарифу и питают освещение утром и вечером в пиковые и полупиковые часы, когда цена электроэнергии максимальна, что способствует значительной экономии. Кроме того, аккумуляторные батареи питают освещение при авариях и погашениях в питающей сети переменного тока. Полупроводниковые преобразователи (конвертеры) выполняют выпрямление тока для питания сети и зарядки батареи, а при необходимости выдачу накопленной электроэнергии обратно на сторону переменного тока.

Для современной бытовой нагрузки можно оценить масштаб экономии от использования накопителей совместно с возможностями, предоставляемыми введением учета по тарифам с дифференцированными ставками. Цены ставок (на примере Свердловской области, 2 полугодие 2012 г.) приведены в таблице.

Зона	Цена ставки, руб./кВт·ч	
Пик (07:00-10:00, 17:00-21:00)	$c_1$	2,06
Полупик (10:00-17:00, 21:00-23:00)	$c_2$	1,41
Ночная (23:00-17:00)	$c_3$	0,84

Наиболее эффективно использование накопителей для питания электроприборов и освещения, используемых в пиковые часы. В расчете на один киловатт ( $P = 1$  кВт) нагрузки шесть пиковых ( $T_1 = 6$ ) и три полупиковых ( $T_2 = 3$ ) часа в сутки 336 рабочих дней в году ( $N = 336$ ), и КПД батареи с проводкой 85 % ( $\eta = 85$  %) удельная экономия потребителя составит:

$$E = P \cdot N \cdot \eta \cdot (T_1 \cdot (c_1 - c_3) + T_2 \cdot (c_2 - c_3)) =$$

$$= 1 \cdot 336 \cdot 0,85 \cdot (6 \cdot (2,06 - 0,84) + 3 \cdot (1,41 - 0,84)) = 2580 \text{ руб} / \text{кВт}.$$

Подключение осветительной сети постоянного тока к питающей сети переменного тока через конвертер возможно следующими способами:

- радиальная схема осветительной сети постоянного тока с установкой конвертера и батареи в помещении трансформаторной подстанции;
- кольцевая схема с подключением одной стороны к первой ТП и установкой только выпрямителя, другой стороны ко второй ТП с установкой батареи и конвертера, при этом конвертер может выполнять функции секционирующей и коммутационной аппаратуры.

В качестве пилотного проекта рассматривается внедрение сетей постоянного тока в систему городского освещения. Традиционные люминесцентные ДРЛ и натриевые ДНаТ лампы в осветительных сетях из-за малого срока службы требуют постоянной замены. Подобные лампы чувствительны к режиму осветительной сети, потребляют большой объем реактивной мощности, портят качество электроэнергии, требуют наличия пускорегулирующей и фильтрокомпенсирующей аппаратуры. В условиях постоянного роста цен на электроэнергию сети освещения с традиционными люминесцентными и натриевыми лампами неэкономичны и неэффективны.

Современные светодиодные элементы обладают сроком службы примерно в 5 раз больше, чем у традиционных ламп, и электропотреблением в 2-3 раза меньше при аналогичных световых характеристиках. С учетом развития и распространения в последние годы светодиоды являются наиболее эффективной осветительной технологией на сегодняшний день. Существуют значительные резервы по снижению стоимости светодиодного освещения.

Светодиодные лампы используют постоянный ток. В каждую такую лампу встраивается выпрямитель, преобразующий переменный ток в постоянный, либо используется блок питания на группу светодиодов (ленту). Такие выпрямители и блоки питания существенно удорожают светодиодные светильники, снижают их надежность и энергоэффективность. Необходимо питание лампы непосредственно постоянным током.

Экономический эффект от внедрения возникает от отсутствия необходимости в блоках питания и пускорегулирующей аппаратуре, отсутствия потерь в данных элементах, снижения электропотребления, отсутствия реактивной мощности, высших гармоник и необходимости применения фильтрокомпенсирующей аппаратуры. Осуществляется экономия на разнице в цене накопленной дешевой и сетевой дорогой электроэнергии. Также отсутствует ущерб в результате перерывов городского освещения при авариях и обрывах проводов питающей сети переменного тока.

Основные показатели:

- срок окупаемости проекта составляет 1,5 года при внедрении взамен осветительной сети с люминесцентными ламп ДРЛ и 2 года и 10 мес. при внедрении взамен осветительной сети с натриевыми лампами ДНаТ;
- экономия от использования светодиодной осветительной сети постоянного тока по сравнению с сетью переменного тока составляет 32 %;

– экономический эффект может быть значительно усилен за счет включения в проект светодиодных наружной рекламы и подсветки зданий, а в перспективе – за счет интеграции альтернативных источников энергии.

#### *Библиографический список*

1. Самойленко В.О., Шелюг С.Н., Паздерин А.В. Опыт проведения энергоаудита корпусов и зданий учреждений образования, конструкторских бюро, проектных и исследовательских институтов // Энергетика и электротехника – 2012: Сборник докладов XI Международной научно-практической конференции в рамках выставки. Екатеринбург: ЗАО «Уральские выставки», 2012. 175 с.
2. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение. М.: Стандартинформ, 2011.

### **ОБ ЭНЕРГЕТИКЕ РОССИИ**

*Серебряков Д.В., Щелоков Я.М.  
УрФУ, СРО НП «Союз «Энергоэффективность»  
director@npse.ru*

Нам в наследство достался совершенно недоступный другим странам уровень правового статуса монопольных структур, владеющих рынками сетевых энергоресурсов (электроэнергия, тепловая энергия, природный газ и др.). Здесь мы, по-прежнему, не имеем себе равных. Как когда-то в области балета. Но, опять в СМИ поток путей по выводу из очередного кризиса энергетики России. У каждого автора свой «путь». Чем мы хуже других?

К слову, своеобразие российской энергетической системы в том, что чем выше уровень участия в ней частного капитала, тем выше и монопольная составляющая. Но истоки этой темы кратко не изложишь.

*О мировых тенденциях.* Согласно [1], из-за глобального расточительного использования невозобновляемых энергоресурсов, а также из-за относительно неэффективного управления энергоресурсами в индустриально развитых странах, современные энергосистемы также не удовлетворяют принципу долгосрочного эффективного использования природных ТЭР. Для успешной реорганизации немецкой энергосистемы и образования структур, способных к длительному использованию, необходимо применение различных подходов в их эффективном сочетании. Так в ФРГ создан «Центр исследования Энергии Нижней Саксонии» (EFZN). Цель его – оптимальное решение возникающих в энергетическом секторе экономики задач и проблем путем создания прочного сотрудничества различных технических и нетехнических научных дисциплин. Основные направления этих исследований следующие.

*Децентрализованные источники.* Они позволяют осуществлять более эффективную выработку энергии по сравнению с традиционными электростанциями благодаря сокращению потерь на транспортировку. Кроме того, технологии, обеспечивающие комбинированную выработку тепловой и электрической энергий, позволят в будущем производить и холод. Это повысит коэффициент полезного действия более чем до 80 %. Таким образом, стимулирование развития децентрализованных установок, направленных на объединенную вы-

работку тепловой и электрической энергии, должно продолжаться, в том числе за счет использования ВЭР для производства холода.

*Новые энергосети.* Именно такие меры могут дать толчок к развитию таких распределительных сетей, которые и будут снабжать в значительной степени энергией себя самостоятельно. Если же производство энергии с использованием информационных и коммуникационных технологий будет ориентировано на потребление, то новые разновидности сетей, так называемые Smart Grids, могут получить свое развитие. Еще одна разновидность сетей – это сети Microgrids, малые низковольтные сети 380 V, которым для автономного энергоснабжения требуется не только большое число децентрализованных генераторов, но и накопители энергии. При обширном развитии Microgrids традиционные сети передач могут быть использованы лишь как резерв. Таким образом, благодаря хорошо развитым сетям сверхвысокого напряжения, Microgrids с наибольшим эффектом должны быть использованы на территориях с низкой заселенностью и высокими специфическими издержками на эксплуатацию, в то время как Smart Grids способны внести огромный вклад в интеграцию сетей децентрализованных производителей электроэнергии.

*Транспортировка и распределение электричества.* Сложилась ситуация, когда доля регенеративных источников в производстве электроэнергии, а также децентрализованное использование остаточного тепла от работы электростанций малой мощности существенно выросла, и перед наукой ставятся новые задачи по реорганизации существующих сетей. Направление потока мощности в сети не определяется более электростанциями большой мощности! Потребитель может быть производителем электрической энергии, обеспечивая не только себя, но и других потребителей посредством «виртуальной электростанции», хотя это выполнимо лишь в центре профиля нагрузки. Поддержание необходимого напряжения и частоты в любой момент времени остается, как и прежде, системной услугой компании, управляющей сетью. Действительность такова, что разделение процессов выработки, транспортировки распределения и торговли выработанной электроэнергией продолжает набирать обороты. В скором времени данный вид услуг не будет оказываться централизованными электростанциями. Но это немецкая специфика. Эти функции будут выполнять компании, управляющие сетью, которые должны будут предложить решения в соответствии с требованиями клиентов. На данном этапе возникает новый формат рынка, которому новые исследования должны будут предоставить новые продукты, способные в новых условиях, как и прежде, поддержать стабильность и надежность электрических сетей.

Растущее применение децентрализованных технологий, направленных на объединенную выработку тепловой, электрической энергий и холода, сделает необходимым появление в ближайшем будущем новых концепций, обеспечивающих совершенствование, переоборудование и эксплуатацию электрических сетей. На фоне продолжающегося разделения функций компаний, управляющих сетями и непосредственных производителей электроэнергии, данное требование становится абсолютно обоснованным. «Центр Исследования Энергии Нижней Саксонии» (EFZN) строит на своей территории малую низковольтную

сеть децентрализованного энергоснабжения и малую тепловую сеть, цель которых – демонстрация их возможностей с перспективой их дальнейшего исследования. Благодаря современным информационным и коммуникационным технологиям, децентрализованные источники, производящие электроэнергию, и потребители будут объединены в единую коммуникационную сеть. Таким образом, становится возможным комплексное исследование в рамках всей энергетической цепи устойчивой работы децентрализованных сетей, в том числе параллельно с соседствующими сетями. Интеграция флуктуирующих регенеративных источников энергии существенно изменит структуру системы выработки электрической энергии. Производство будет определено слабо регулируемые источниками, подчиняющимися природным явлениям и погоде. Они должны быть интегрированы таким образом, чтобы надежность обеспечения энергией оставалась высокой.

*Кадры решают все.* Дальнейшим центральным элементом, необходимым в реорганизации немецкой системы энергоснабжения, принимая во внимание достижение долгосрочного непрерывного энергоснабжения, является инициатива по запуску исследовательских и образовательных программ [2].

*Энергосистема России.* Сохранена практически неизменной энергосистема, унаследованная от плановой экономики. Ее определение дано еще в ГОСТ 21027-75 как «совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической энергии и тепла при общем управлении этим режимом». Это как бы «моральная» составляющая для любого возможного процесса обновления. Оптимальный вариант решения проблем энергетики видится многим в дискретной схеме: государство (в лице Президента) или тотальный «оптовый рынок». И в рамках этой схемы пока реализуется принцип: *оставить все как есть*.

Задача же современной энергосистемы удовлетворять принципу долгосрочного эффективного использования природных ресурсов в условиях, когда происходят глобальные изменения в области энергетики. Основная цель этих изменений во всех индустриально развитых странах – это исключение зависимости от государств (России, в том числе), где сконцентрированы запасы нефти и газа. Суммируем принципы глобальных изменений в области энергетики [1, 2]. Децентрализованные источники позволяют обеспечивать более эффективную выработку энергии по сравнению с традиционными электростанциями, благодаря сокращению потерь на транспортировку для большинства участников малого бизнеса, да и для населения. Здесь возможен частичный выход из перекрестного субсидирования. Кроме того, этим создаются более благоприятные условия для ухода от «одноразового» использования топлива за счет перехода на объединенную выработку тепловой, электрической энергии и холода. Развитие процессов по аккумулярованию энергии в разного рода накопителях. Более широкое использование энергии из регенеративных (возобновляемых) источников энергии и др. С учетом этих и других мер получают развитие новые разновидности сетей: Smart Grids и Mikrogrids.



Игнорирование подобных трендов, как минимум, сдерживает развитие в наших распределительных сетях информационных и коммуникационных технологий нового типа, без широкого использования которых вряд ли возможен переход на качественно новый уровень повышения эффективности использования энергии. На наш взгляд, сложившаяся ситуация во многом обязана отсутствием в нашей стране единой, комплексной, непротиворечивой, адекватной системы нормативно-правового регулирования энергетических отношений. Это неременное условие эффективного развития ТЭК и вне топливной энергетики [3].

Юридическая практика показывает, что у нас отсутствует понятная всем группам потребителей правовая основа обеспечения устойчивого развития и функционирования энергетики. При наличии в этой сфере фрагментарного законодательства и отсутствии единой методологии, объективно невозможно урегулировать отдельными постановлениями Правительства РФ (даже многостраничными) особенности деятельности и взаимозависимости предприятий ТЭК, отношений производителей и потребителей ТЭР, энергетических материалов, продуктов и энергетических услуг.

#### *Выводы*

1. Россия не должна в рыночных условиях сохранять неизменной энергетическую систему.

2. Результаты сравнения наших и мировых трендов развития энергетики и национального энергетического права [3] позволяют высказать мнение, что существующая энергетическая политика России не способствует формированию новых энергетических технологий, отвечающих мировому уровню инновационного развития, преимущества которых будут доступны всем группам потребителей.

3. При любом регулировании и даже государственном, нужна «обратная связь». В концепциях развития электроэнергетики большинства стран условием обратной связи является «соблюдение принципа равных возможностей для потребителей и поставщиков, в части доступа в электросеть на уровне распределительных сетей».

4. По сути дела признано, что повышение надежности и эффективности энергетических систем возможно только с непосредственным участием потребителя.

5. Необходима разработка и реализация национальных энергетических директив, в том числе:

- достижение в энергосистеме определенного объема децентрализованного электрического энергоснабжения на уровне распределительных сетей.
- достижение определенной доли производства энергии (электрической и тепловой) от возобновляемых (регенеративных) источников.
- разработка программы по технологическому преобразованию электрических сетей с учетом освоения перехода на частичное децентрализованное снабжение электроэнергией.
- создание специальной юридической литературы по энергетике, понятной населению и всем группам потребителей.

6. Следует провести доступные общественные обсуждения о возможности участия населения в розничных рынках.

*Библиографический список*

1. Исследования энергии сегодня и завтра / «Центр исследования Энергии Нижней Саксонии» (EFZN). ФРГ: EFZN, 2008. 27 с. (русс. изд.)
2. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. О программе энергоэффективности в российской промышленности // Индукционный нагрев. 2012. № 3. С. 4-9.
3. Энергетическое право России и Германии: сравнительно-правовое исследование / Под ред. П.Г. Лахно и Ф.Ю. Зеккера. М.: Изд. группа «Юрист», 2011. 1076 с. (русс. изд.)

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ОАО «ЮТЭК-ЮГОРСК»**

*Скворцова К.В., Грицук С.А.  
УрФУ, E-mail: skvorcovaksenia18@mail.ru*

Основными видами деятельности ОАО «ЮТЭК-Югорск» являются обеспечение эксплуатации энергетического оборудования, проведение своевременного и качественного его ремонта; техническое перевооружение и реконструкция энергетических объектов; осуществление деятельности по оперативно-диспетчерскому управлению; иные виды деятельности в сфере электроснабжения в соответствии с программой развития г. Югорска и Югорска-2 до 2016 г.

Программа в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности ОАО «ЮТЭК-Югорск» на 2010-2015 гг. имеет целью снижение объёма потребленных энергетических ресурсов.

Задачи программы:

- применение энергосберегающих технологий и энергоэффективного оборудования;
- проведение технических и организационных мероприятий в области энергосбережения и повышение энергетической эффективности.

В ходе реализации программы предусмотрены следующие основные мероприятия:

1) организационные: проведение тепловизионного обследования электрооборудования; назначение из числа работников предприятия лица, ответственного за проведение энергосберегающих мероприятий; энергоаудит электросетевого комплекса г. Югорска и составление энергопаспортов.

В соответствии с п. 3 ст. 16 Федерального закона от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» первое энергетическое обследование необходимо провести до 31.12.2012 г., последующие – не реже 1 раза за 5 лет;

2) технологические: установка автоматических регуляторов перепада давления; установка счётчиков холодной воды; установка эффективных регуляторов расхода воды; внедрение системы АИИСКУЭ; замена ВЛ-0,4 кВ с проводом АС на ВЛИ-0,4кВ с проводом СИП-2 в 3 и 6 МКР; замена светильников на энергоэффективные.

В соответствии с разработанной программой произведен расчет затрат на мероприятия по энергосбережению и повышению энергетической эффективности по ОАО «ЮТЭК-Югорск». Затраты на реализацию программы по годам составляют: в 2010 г. – 48,5655 млн. руб.; в 2011 г. – 127,8161 млн. руб.; в 2012 г. – 125,210 млн. руб. (без НДС).

В результате реализации мероприятий программы планируется достичь следующих показателей экономического эффекта:

1) по тепловой энергии: обеспечить экономию тепловой энергии за счёт установки автоматических регуляторов перепада давления в размере 83,7 Гкал (72,73 тыс. руб.);

2) по воде: обеспечить снижение потребления воды на собственные нужды за счёт эффективных регуляторов расхода воды в размере 0,17 тыс. м<sup>3</sup> (8,37 тыс. руб.);

3) по электрической энергии: обеспечить сокращение сверхнормативных потерь электрической энергии при ее передаче по сетям и увеличение объемов реализации электроэнергии в размере 65 тыс. кВт·ч (399,5 тыс. руб.).

Эффективность программы по энергосбережению и повышению энергетической эффективности оценивалась по сроку окупаемости. Срок окупаемости рассчитан исходя из затрат на реализацию мероприятия и экономического эффекта, определенного на основании экономии энергетического ресурса.

Перечень целевых показателей Программы энергосбережения ОАО «ЮТЭК-Югорск» сформирован в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 31.12.2009 № 1225 «О требованиях к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».

Целевые показатели в области энергосбережения ОАО «ЮТЭК-Югорск» на период до 2015 г. рассчитаны по отношению к значениям соответствующих показателей в году, предшествующем году начала реализации Программы, и отражают их динамику. Планируемые и фактически достигнутые в ходе реализации Программы значения целевых показателей определены для каждого года на протяжении всего срока реализации Программы.

В результате реализации Программы в 2012 г. должно быть обеспечено достижение следующих целевых показателей энергосбережения:

1) снижение потребления тепловой энергии на 7,2 %;

2) снижение потребления воды на 9,4 %;

3) снижение потребления электрической энергии на собственные нужды на 15,5 %;

4) сокращение технологических потерь электрической энергии в процессе транспортировки на 0,12 %;

5) сокращение удельной величины потерь электрической энергии при передаче до 14,76 кВт·ч/км.

Программа в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности ОАО «ЮТЭК-Югорск» должна быть реализована до 2016 г.

Источники финансирования программы: 1) привлеченные внебюджетные средства – 301516,6 тыс. руб.; 2) средства предприятия – 75 тыс. руб.

Общее руководство реализацией Программы осуществляется ОАО «ЮТЭК-Югорск», контроль за реализацией осуществляет Администрация города Югорска. Повышение энергетической эффективности деятельности ОАО «ЮТЭК-Югорск» позволит обеспечить надежное и бесперебойное энергоснабжение потребителей, а также выполнение мероприятий по программе развития города Югорска.

*Библиографический список*

1. Программа в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности ОАО «ЮТЭК-Югорск» на 2010–2015 гг. (в ред. постановлений Правительства ХМАО-Югры от 08.07.2010 № 169-п; от 09.09.2011 № 333-п; от 21.01.2012 № 20-п).

2. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре на 2011-2015 годы и на перспективу до 2020 г.: Целевая программа ХМАО-Югры (в ред. постановлений Правительства ХМАО-Югры от 12.08.2011 № 304-п; от 08.06.2012 № 205-п).

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СРЕДНЕГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОГО НЕДОЖОГА**

*Скорик И.А., Голдобин Ю.М.  
УрФУ, [pte@fromru.com](mailto:pte@fromru.com)*

В топках парогенераторов большой мощности, сжигающих угольную пыль различных натуральных топлив, необходимо организовывать процесс горения топлива таким образом, чтобы механический недожог был минимальным. Минимизация уноса из топки частиц несгоревшего топлива приводит к снижению расходов топлива и электроэнергии на приводы вентиляторов, дымососов и приготовление пыли. Унос несгоревшей пыли зависит не только от конструктивных особенностей горелок и режимных параметров, но и от кинетики процесса горения полидисперсных частиц топлива. Существующие методы расчета горения основывались на рассмотрении кинетики выгорания отдельных частиц или монодисперсных систем частиц, требующих большого числа уравнений, зависящего от количества фракций.

Нами получена модель выгорания полидисперсной системы частиц на основе решения кинетического уравнения для функции распределения частиц по размерам. Определены функции распределения, автомодельные параметры и скорости горения для двух предельных режимов (кинетического и диффузионного). Составлено уравнение для степени выгорания топлива, а также уравнения энергии для частиц и газов с учетом реакции горения и теплообмена между системой частиц, газами и стенками топки.

Данная модель позволяет определить температуры частиц и газов, а также величину механического недожога при различных режимных параметрах для разного среднего размера частиц полидисперсной пыли.

Модель учитывает изменение концентрации кислорода по мере выгорания топлива, влияние начальной температуры газов, температуры подогрева транспортирующего воздуха, характеристик топлива и т.п.

Проведенные расчеты по сжиганию полидисперсной антрацитовой пыли для разных средних начальных размеров частиц показали, что в условиях работы достаточно мощных паровых котлов механический недожог составляет около 0,5...1 % для частиц 40 мкм и возрастает при сжигании более крупных частиц, достигая 15 % при диаметре частиц 100 мкм. Результаты расчетов по степени выгорания топлива неплохо подтверждаются экспериментальными данными, полученными при сжигании антрацитовой пыли в топках паровых котлов.

Модель позволяет расчетным путем определить средний начальный размер частиц полидисперсной системы, который должен быть получен при размоле топлива для минимизации механического недожога, что в конечном итоге приведет к снижению затрат на приготовление и сжигание топлива.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМАХ СЖАТИЯ ГАЗА**

*Слепова И.О., Борисова И.В., Демин Ю.К.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова*

*E-mail: Irishka\_Borisova@bk.ru*

В промышленности применяется большое количество технических газов в сжатом состоянии. Только в черной металлургии, производящей 1,5 млрд т в год стали, общее производство сжатого воздуха достигает 4-5 т/т стали при давлении до 0,6 МПа. Воздух также в значительных объемах сжимается для производства продуктов его разделения – кислорода, азота, аргона и других.

Сжатие воздуха в больших масштабах осуществляется в современных газотурбинных технологиях генерации электрической, тепловой и механической энергии, доля которых в промышленной энергетике возрастает.

В специальных технологических случаях необходимо сжатие оксида и диоксида углерода в некоторых вариантах использования конвертерных газов и производства жидкой и твердой углекислоты.

На стратегическом направлении современной энергетике – водородном, необходимы значительные затраты на сжатие водорода.

Сжатие газов сопровождается значительными затратами энергии, зависящими от свойств газа, а также существенным повышением температуры сжатых газов. Основным направлением *энергосбережения* при сжатии газов является ступенчатое охлаждение и отвод теплоты сжатых газов.

Целью данной работы является оценка затрат на сжатие и охлаждение технических газов в зависимости от их свойств.

Для расчетов технические газы брались при давлении 0,1 МПа и сжимались до 0,2 МПа. В зависимости от начальной температуры и свойств газа [1, 2] определялись конечная температура и затраты на сжатие. Также было рассчитано количество теплоты, которое необходимо отвести от газа для охлаждения его до начальной температуры. Использовались формулы адиабатного сжатия [3] и изобарного охлаждения [4]. Результаты расчетов приведены в таблице.

Из таблицы видно, что из перечисленных технических газов наибольшие затраты приходятся на сжатие водорода и азота, сжимаемых до 35 МПа при производстве аммиака. Следующим по затратам идет оксид углерода, из которого на 60-85 % состоит конверторный газ, который также необходимо сжимать для эффективного использования в доменном производстве или ГТУ. Наименьшее количество энергии тратится на диоксид углерода, сжимаемый до 7 МПа при производстве углекислоты.

Наибольшая конечная температура и количество отводимой теплоты приходится на водород. Это означает, что при производстве сжатого водорода можно отвести наибольшее количество теплоты с наивысшим потенциалом.

Оценки энергозатрат при производстве сжатых газов

Начальная температура газа, °С	25	50	75	100
Кислород				
Конечная температура газа, °С	89,75	119,76	149,71	179,42
Работа на сжатие, кДж/кг	59,31	64,25	69,18	74,09
Количество отводимой теплоты, кДж/кг	59,64	64,46	69,48	74,34
Азот				
Конечная температура газа, °С	90,27	120,74	151,07	181,37
Работа на сжатие, кДж/кг	67,79	73,48	79,15	84,82
Количество отводимой теплоты, кДж/кг	68,07	73,78	79,34	84,95
Водород				
Конечная температура газа, °С	91,03	121,16	151,37	181,69
Работа на сжатие, кДж/кг	943,08	1021,64	1100,32	1179,15
Количество отводимой теплоты, кДж/кг	943,10	1021,48	1100,14	1179,72
Оксид углерода				
Конечная температура газа, °С	90,27	120,60	150,92	181,21
Работа на сжатие, кДж/кг	67,80	73,48	79,15	84,82
Количество отводимой теплоты, кДж/кг	67,84	73,46	79,12	84,81
Диоксид углерода				
Конечная температура газа, °С	75,10	102,56	129,91	157,35
Работа на сжатие, кДж/кг	42,22	45,65	49,08	52,51
Количество отводимой теплоты, кДж/кг	42,27	45,68	49,04	52,53
Воздух				
Конечная температура газа, °С	90,27	120,74	150,92	181,21
Работа на сжатие, кДж/кг	65,56	71,06	76,53	82,01
Количество отводимой теплоты, кДж/кг	65,79	71,38	76,68	82,18

Полученные оценки энергетических затрат могут быть использованы для разработки перспективных *энергосберегающих* схем в энергетике и технологиях для реализации процессов газотурбинной генерации, производства металлов и продукции основной химической промышленности.

*Библиографический список*

1. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства газа: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1987. 288 с.
2. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 720 с.

3. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. М.: Энергия, 1977. 416 с.
4. Кириллин В. А. Техническая термодинамика: учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1983. 416 с.

## МЕТОД АНАЛИЗА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОКРУЖЕНИЯ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭНЕРГООБЛОКОВ НА ПРИМЕРЕ ПГУ

Сойко Г.В., Буров В.Д.  
Московский энергетический институт,  
SoykoGV@gmail.com, BurovVD@mail.ru

Сегодня основу (более 65 %) российской энергетики составляют паротурбинные ТЭС, которые работают со средним КПД 36 %. В последнее десятилетие в России на ТЭС стали применяться парогазовые технологии, которые позволяют достичь КПД 50 % и выше, так в 2011 г. на ТЭЦ-26 ОАО «Мосэнерго» введен в эксплуатацию энергоблок с самым высоким в России КПД (примерно 58 %). Однако в ведущих промышленно-развитых странах фирмами *General Electric*, *Siemens* уже реализованы проекты ТЭС с КПД более 60 %. Данные ТЭС базируются на высокотемпературных газотурбинных установках (ГТУ) с КПД 40 % и выше [1]. В настоящее время такие фирмы как *Mitsubishi*, *General Electric*, *Siemens* уже имеют достаточно большой опыт по выпуску ГТУ 5-го поколения (F-класс) и реализации различного типа электростанций (газотурбинных и парогазовых) на их основе. К газовым турбинам пятого поколения (F-класс) можно отнести такие ГТУ как M701F (*Mitsubishi*), MS9001FA (*General Electric*), SGT5-4000F (*Siemens*), GT24 (*Alstom*), AE94.3A (*Ansaldo*).

Широкий спектр предлагаемых газотурбинных установок и различные варианты реализации парогазовых блоков на их основе приводят к необходимости проведения технико-экономических оптимизационных исследований направленных на выявления наиболее приемлемого варианта реализации будущего объекта генерации. Такие исследования требуют многократных циклических экономических расчетов для каждого изменения технического параметра для каждого варианта тепловой схемы.

Для сокращения количества необходимых экономических расчетов при технико-экономической оптимизации предлагается применять разработанную в научно-исследовательской лаборатории «Газотурбинных и парогазовых ТЭС» кафедры ТЭС «НИУ «МЭИ» методику независимого анализа экономического окружения. Суть данной методики заключается в рассмотрении экономического окружения и результатов экономической деятельности будущего условного объекта генерации с применением удельных величин. При этом выделяются основные отличительные характерные параметры для каждого из вариантов реализации объекта генерации и исследуются их влияния на экономическую эффективность объекта. В качестве примера реализации данной методики рассмотрим варианты реализации различных схем ПГУ КЭС на базе газотурбинных установок 5-го поколения (класс «F»). Основные параметры, влияющие на итоговый экономический эффект, можно разделить на два типа: параметры, от-

носящиеся к объекту, и параметры, относящиеся к экономическому окружению данного объекта.

Параметры, относящиеся к объекту: электрическая мощность блока, (нетто); КПД (нетто); капитальные затраты на сооружение блока ПГУ; затраты на ремонтно-техническое обслуживание объекта; затраты на заработную плату персонала; затраты на потребляемую воду, смазочные масла, химические реагенты и прочее. Анализ вышеперечисленных параметров показывает, что если перейти к удельным затратам на РТО, воду, смазочное масло, химическим реагентам и прочее, то их в рамках рассмотрения ПГУ на базе ГТУ одного класса можно принять постоянными. Таким образом, переход к рассмотрению блока в «удельных показателях» оставляет только два основных параметра для КПД (нетто) и удельные капитальные затраты на сооружение блока ПГУ.

Параметрами, относящимися к экономическому окружению данного объекта, являются: стоимость топлива; тариф на электроэнергию; тариф на электрическую мощность. Данные параметры постоянны в рамках одной зоны расположения объекта. Для рассматриваемого примера (регион Центр) стоимость топливного газа, цена на электроэнергию и цена на мощность и их изменение в горизонте 2010-2030 приняты по [2].

Таким образом, варьируя КПД нетто от 45 % до 60 % и удельные капитальные вложения от 20 тыс. руб./кВт до 55 тыс. руб./кВт, рассчитываем в программе «Альт-Инвест» удельные показатели экономического эффекта, аппроксимируя которые, получаем уравнение для удельного экономического эффекта (ЧДД – чистый дисконтированный доход) блока ПГУ на базе ГТУ 5-го поколения для региона Центр.

$$Z = A + B \cdot x + C/y + D(x^2) + E/(y^2) + F(x/y) + G(x^3) + H/(y^3) + I(x/y^2) + J(x^2/y),$$

где  $Z$  – удельный ЧДД к 22-му году эксплуатации, тыс. руб./кВт;  $x$  – удельные капитальные затраты, тыс. руб./кВт;  $y$  – КПД блока ПГУ, % нетто; коэффициенты:  $A = 268,1724$ ;  $B = -0,8559$ ;  $C = -4873,5191$ ;  $D = -0,0001$ ;  $E = 2168,7887$ ;  $F = 0,54478$ ;  $G = 0,4525 \cdot 10^{-6}$ ;  $H = -33248,491$ ;  $I = -23,1770$ ;  $J = -0,0026$ .

С помощью данного уравнения можно получать полные значения ЧДД блока ПГУ без непосредственного обращения к программе экономического расчета при создании оптимизационных программ и алгоритмов.

#### *Библиографический список*

1. Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С. Осыка; под ред. С.В. Цанева. М.: Изд. дом МЭИ, 2011.
2. Сценарные условия развития электроэнергетики на период до 2030 года. М.: Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике, 2012.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОХЛАЖДАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ ДСП**

*Соколова Д.С., Демин Ю.К., Матвеев С.В.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
darushka1210@yandex.ru*

По сообщению всемирной ассоциации стали годовая выплавка электро- стали составляет 490 млн тонн и имеет устойчивую тенденцию к росту [1]. При



этом работа дуговой сталеплавильной печи (ДСП) не возможна без системы водяного охлаждения.

Температура охлаждающей воды в панелях печи на верхней границе не превышает 100 °С. При этом во время плавки выделяется порядка 50 МДж теплоты с каждой тонны стали, которая в настоящее время практически полностью теряется.

В данной работе ставится задача энергосбережения путем наиболее эффективного использования теплоты плавки и уменьшения объема циркуляции теплоносителя. Решением этой задачи может стать применение иного (отличного от воды) теплоносителя, работающего в более высоких интервалах температур. Для выбора теплоносителя необходимо сформулировать критерии отбора.

При кипении теплоносителя коэффициент теплоотдачи уменьшается на порядок, поэтому основным критерием, предъявляемым к теплоносителю, будет высокая температура кипения (выше либо равна 1083 °С – температура плавления материала панелей ДСП [2]). Для сокращения объемов циркуляции максимально возможный теплоперепад теплоносителя должен быть больше максимального теплоперепада воды. Для оценки последнего условия введем коэффициент  $k$ :

$$k = \frac{\Delta q_{\text{теплоносителя}}^{\text{max}}}{\Delta q_{\text{воды}}^{\text{max}}} = \frac{c_{\text{теплоносителя}} \cdot (1083 \text{ °С} - t_{\text{плавления теплоносителя}})}{c_{\text{воды}} \cdot (100 \text{ °С} - 0 \text{ °С})} \quad (1)$$

Учитывая эти требования, был произведен отбор теплоносителей (таблица).

Характеристика теплоносителей [3]

Теплоносители	$T_{\text{плавл}}, \text{°С}$	$T_{\text{кип}}, \text{°С}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\lambda, \text{Вт/(м·К)}$	$c_p, \text{кДж/(кг·К)}$	$k$
Литий	181	1336	476	48	4,513	9,72
Свинец	327	1737	10325	16	0,147	0,27
Галлий	30	1983	6708	38	0,419	1,05
Олово	232	2270	6729	37	0,255	0,52
Висмут	271	1477	9660	17	0,151	0,29
Сплав С-13	125	1670	10000	16	0,146	0,33

Как видно из таблицы, наиболее подходящими являются литий, галлий и олово.

После нагревания теплоносители можно направить для выработки пара и дальнейшего производства электроэнергии. Так, для сплава С-13 существуют парогенераторы, входящие в состав атомных энергетических установок (БРЕСТ-ОД-300, СВБР-10, СВБР-75/100).

Использование этого решения может позволить получить с каждой тонны выплавляемой стали, с учетом КПД паротурбинного цикла 40 %, около 5,5 кВт·ч электроэнергии. Во время плавки стали в 180-тонной ДСП можно вырабатывать около 1 МВт·ч электроэнергии.

Таким образом, замена воды в охлаждаемых панелях дуговой сталеплавильной печи на предлагаемые теплоносители может позволить получить значительный энергосберегающий эффект – до 10 % общего потребления электроэнергии на производство электростали.

#### *Библиографический список*

1. <http://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2012/2011-world-crude-steel-production.html>
2. Казанцев В.И. Промышленные печи: Справочное руководство для расчета и проектирования. М.: Металлургия, 1975. 368 с.
3. Чечеткин А.В. Высокотемпературные теплоносители: учебник для вузов. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. 424 с.

### **К ВОПРОСУ О ПАРАМЕТРАХ ГИПЕРСНАРЯДНОГО РЕЖИМА КИПЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

*Стариков Е.В.  
УрФУ*

Одним из важнейших направлений экономии топливно-энергетических ресурсов наряду с повышением эффективности теплопередающих и теплогенерирующих установок является разработка технологий использования низкопотенциальной энергии.

Одним из видов энергосберегающих мероприятий может служить использование низкопотенциальной тепловой энергии вторичных источников, например сбросных стоков с температурой 80-120 °С. Помимо известных способов преобразования (тепловые насосы, термоэлектрические установки и т. д.), в настоящее время разрабатываются другие методы использования тепловой энергии. Заслуживает внимания так называемый термомеханический метод преобразования, в основе которого лежит механизм образования паровых снарядов в узких вертикальных каналах с последующим преобразованием их энергии в механическую энергию или другие виды энергии.

В различных областях современной техники осуществляется движение теплоносителя и тепломассоперенос в условиях парообразования в стесненных условиях. В сравнении с широко распространенными в энергетике, холодильной технике, пищевой и химической технологии процессами парообразования в свободных объемах процессы парообразования в стесненных условиях связаны с тем, что зарождение, развитие и движение элементов паровой фазы в ряде случаев происходят в условиях спонтанного возникновения снарядного режима кипения (минуя фазу пузырькового кипения), когда размер парового снаряда существенно превосходит диаметр канала – гиперснарядного режима парообразования.

Особый интерес представляет изучение упомянутых процессов в связи с созданием новых эффективных систем перекачивания жидкостей без использования вращающихся элементов с целью повышения надежности и срока службы оборудования. В более ранних работах было рассмотрено влияние ряда параметров на гиперснарядный режим парообразования в стесненных условиях, таких как внутренний диаметр канала, в котором происходит кипение, физические параметры кипящей жидкости, уровень подводимой тепловой энергии [2, 3]. Однако это далеко не все параметры, влияющие на гиперснарядный режим кипения в вертикальных обогреваемых каналах

В данной работе решалась следующая задача: определение с помощью экспериментальных исследований особенностей парообразования в стесненных условиях при отсутствии принудительной циркуляции для разных высот зоны нагрева обогреваемого узкого канала, заполненного жидкостью.

Экспериментальная установка для исследования гиперснрядного режима кипения жидкости представляет собой стеклянную трубку, заполненную рабочей жидкостью, установленную вертикально. В нижней части трубки находится нагревательный элемент в виде спирали, намотанной вокруг трубки.

Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

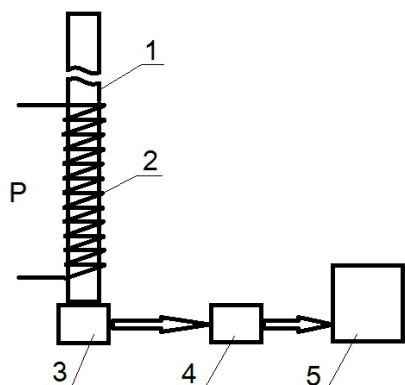


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки:  
1 – стеклянная трубка; 2 – нагревательный элемент;  
3 – датчик давления; 4 – аналогово-цифровой преобразователь; 5 – ПЭВМ

Для моделирования процесса кипения с образованием паровых снарядов проведены серии экспериментов в лабораторных условиях. Стеклянная трубка 1 длиной 1,5 м и внутренним диаметром 22 мм заполнялась дистиллированной водой на высоты 0,25; 0,5; 1,0 м, которая нагревалась внешним нагревательным элементом 2 до температуры кипения. Высота области нагрева соответствовала уровню заполнения трубки жидкостью. Нижний конец трубки соединялся с датчиком давления. Все результаты измерений выводились на ПЭВМ 5.

На рис. 2–4 представлена серия графиков изменения давления в вертикальной трубке для разных подводимых мощностей при разных высотах зоны нагрева.

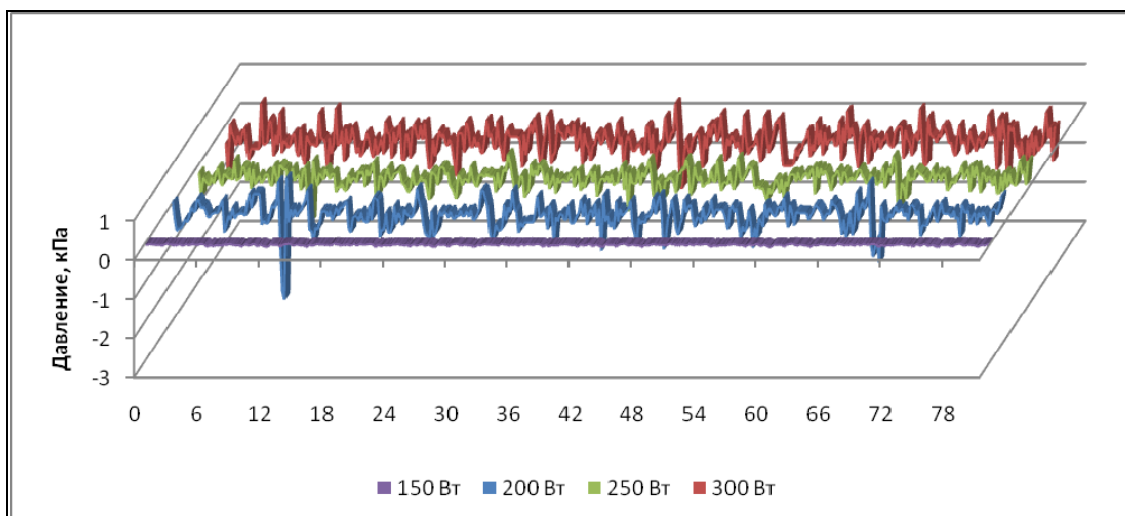


Рис. 2. Изменение давления в трубке  $d = 22$  мм во времени для разных подводимых мощностей при высоте зоны нагрева  $h = 0,25$  м

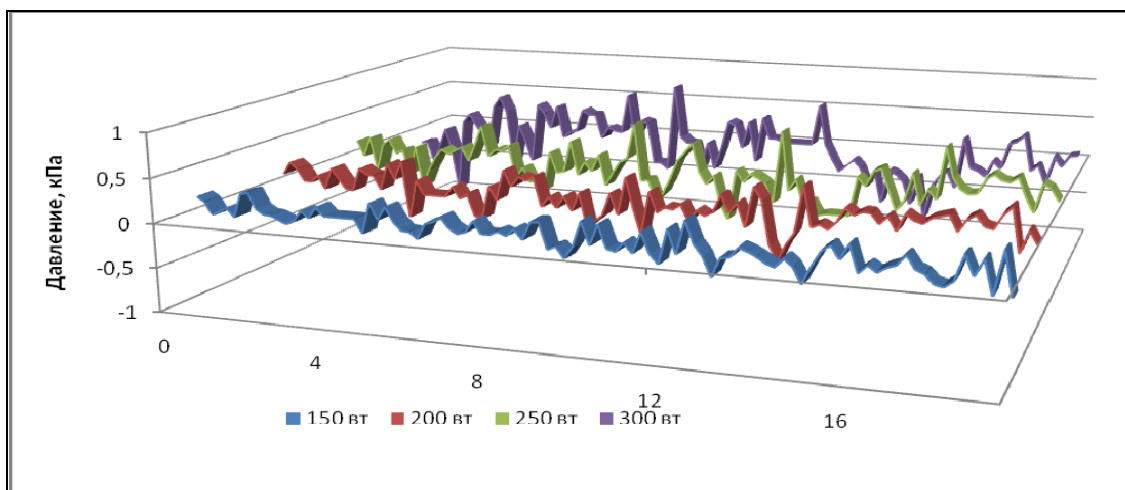


Рис. 3. Изменение давления в трубке  $d = 22$  мм во времени для разных подводимых мощностей при высоте зоны нагрева  $h = 0,5$  м

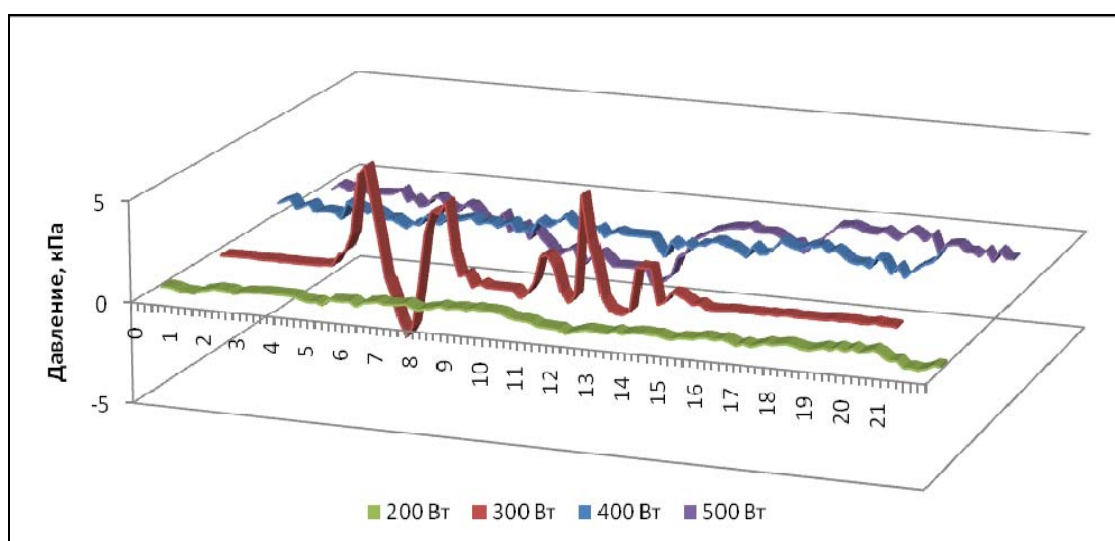


Рис. 4. Изменение давления в трубке  $d = 22$  мм во времени для разных подводимых мощностей при высоте зоны нагрева  $h = 1,0$  м

Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить, что при кипении жидкости в стесненных условиях при отсутствии принудительной циркуляции импульсы давления во время образования паровых снарядов тем больше, чем выше зона нагрева вертикального канала.

#### *Библиографический список*

1. Толубинский В.И. Теплообмен при кипении. Киев: Наукова думка, 1980. 316 с.
2. Стариков Е.В., Пахалуев В.М., Щеклеин С.Е. Возможность термомеханического преобразования солнечной энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2008. № 11. С. 97–112.
3. Буров А.В., Пахалуев В.М., Стариков Е.В., Щеклеин С.Е. Использование низкопотенциальных источников теплоты для питания автономных накопителей энергии // Промышленная энергетика. 2010. № 6. С. 33–35.

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОГРЕВА В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Тиссен А.А., Щеклеин С.Е., Попов А.И.  
УрФУ, nastya\_tissen@mail.ru*

Эффективность электрического обогрева неразрывно связана с возможностью аккумулирования тепловой энергии. В настоящее время известно много разных устройств для ее аккумулирования, а также преобразования из низкопотенциальной в высокопотенциальную энергию, в т.ч.:

- приборные системы прямого электроотопления;
- системы электрических теплых полов разного типа;
- теплонасосные установки;
- напорные и безнапорные аккумуляторные емкости с жидким теплоносителем;
- теплоаккумуляторы с использованием высокотемпературных твердых рабочих тел;
- аккумуляторы с использованием скрытой теплоты фазовых переходов в веществах и т.д.

Наиболее рационально организовать работу термонакопителей в ночное время, когда действуют низкие тарифы за электроэнергию, одновременно это способствует выравниванию графика нагрузки электрических сетей.

Известно, например, что разница в потреблении электроэнергии «день-ночь» в сетях Екатеринбурга более 300 МВт.

Тарифы на электроэнергию для населения города, в настоящее время действующие до 31 декабря 2012 года, следующие:

- для населения, проживающего в домах, оборудованных стационарными газовыми плитами тариф, дифференцированный по времени суток
  - пиковая (дневная) зона – 2,58 руб./кВт·ч,
  - ночная зона – 1,21 руб./кВт·ч;
- для населения, проживающего в домах с электроплитами
  - пиковая (дневная) зона – 1,71 руб./кВт·ч,
  - ночная зона – 0,79 руб./кВт·ч.

Из данного примера очевидно, что стоимости одного кВт·часа днем и ночью отличаются более чем в два раза.

Возникает вопрос, каким образом и сколько надо накопить тепловой энергии за 8 часов действия ночного тарифа, чтобы она сохранялась в отдельной квартире или здании последующие 16 часов суток.

Прежде всего, это зависит от теплоаккумулирующих свойств самого здания. Основные требования к теплотехническим и другим энергетическим показателям на соответствие СНиПам и ГОСТам изложены в территориальных строительных нормах Свердловской области ТСН23-301-2004.

В настоящее время классы энергетической эффективности зданий присваиваются как при проектировании, так и при их реконструкции в соответствии с расчетными условиями согласно ГОСТ 31168.

Даже в зданиях старой постройки целесообразно использовать ночной электрообогрев, т.к. меньшие затраты потребуются на догрев квартиры в дневное время.

В этой связи, например, представляет интерес использование твердотельных мобильных термоаккумуляторов ООО «Тагил-технотерм» на мощности от 2-х до 5-ти кВт.

На кафедре «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» проведена НИОКР по исследованию возможности выравнивания графика нагрузки сетей за счет использования по ночным тарифам различных электрических теплонакопителей и водонагревателей. В данной работе рассмотрены разные категории потребителей энергии (промышленные предприятия, бюджетные организации и население), подключенные к соответствующим видам (уровням) напряжений в сетях. Сделаны следующие выводы для разных категорий потребителей, которым целесообразно использовать средства накопления тепловой энергии за счет электрического нагрева в ночные часы.

1. Потребители всех групп (население, бюджетные, промышленные и пр.) и всех напряжений (ГН, ВН, СН1, СН2, НН), использующие по технологическим условиям электрический обогрев в качестве основного источника тепла.

2. Потребители всех групп (население, бюджетные, промышленные и пр.) и всех напряжений (ГН, ВН, СН1, СН2, НН), использующие электрический обогрев в качестве дополнительного источника тепла для компенсации сезонных и суточных колебаний температуры окружающего воздуха.

3. Потребители всех групп (население, бюджетные, промышленные и пр.) и всех напряжений (ГН, ВН, СН1, СН2, НН), использующие электрический нагрев воды в период отсутствия централизованного ГВС (летние месяцы в качестве дополнительного источника тепла для ГВС).

4. Население, проживающее в городских населенных пунктах в домах, оборудованных в установленном порядке стационарными электроплитами и (или) электроотопительными установками (круглогодично).

5. Население, проживающее в сельских населенных пунктах (при отсутствии газового или дровяного отопления).

6. Жилые и офисные здания новой постройки, отвечающие высоким требованиям тепловой защиты зданий, соответствующих классу энергоэффективности А «Очень высокий» (СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»).

## **ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЭМОЦИЯХ**

*Титова Ю., Ануфриева Е.И.  
УрФУ, elenanufrieva@rambler.ru*

Влияние эмоций (чувств) на здоровье человека общепризнано. Одни и те же эмоции у разных людей могут возникать в совершенно разных ситуациях. Психологи называют эмоциями такие общие состояния организма, которые определяют специфику реакций в зависимости от характерных для них условий.

Эмоции – это субъективное и сугубо индивидуальное отношение человека к происходящему. Но какая-то конкретная эмоция (например, страх) одинаково влияет на организм любого человека вне зависимости от ситуации, в которой человек испытывает эту эмоцию. В одном эмоциональном состоянии очень трудно или даже вообще невозможно заставить реализоваться реакции, характерные для другого эмоционального состояния. И когда ситуация распознается в достаточной степени, происходит переключение эмоций, обеспечивающих быстрое и эффективное реагирование. Это внешнее, зримое проявление эмоций. Научные исследования убедительно доказывают, что наши мысли и эмоции оказывают как немедленное, так и длительное воздействие на наше здоровье и жизненную энергию. Наибольшее влияние эмоции оказывают на нервную и сердечнососудистую системы. Отрицательные эмоции буквально «расстраивают» нервную систему и заставляют сердце биться с беспорядочным ритмом, что неблагоприятно влияет на другие органы и на организм в целом. Напротив, положительные эмоции увеличивают гармонию в нервной системе и сердечном ритме и буквально «настраивают» организм на оптимальное и здоровое функционирование [1].

Сильный гнев и длительное раздражение способствуют нарушению работы сердца и развитию такого заболевания как гипертония. Если человек постоянно злится, то у него уязвимы такие органы, как печень и желчный пузырь, а гипертония является его постоянным спутником. Злость и гнев могут вызвать даже рак, считают врачи. Состояние страха не менее губительно для нашего организма. Страх провоцирует болезни мочеполовой сферы, расстройства кишечника, боли в спине, ожирение. Беспокойство, тоска, тревожность, грусть, также не лучшим образом сказываются на нашем здоровье. Состояние постоянного стресса приводит к гипертонии, болезням сердца, язве желудка, астме, кожным заболеваниям. Раковые опухоли в организме человека, находящегося в состоянии стресса, развиваются очень стремительно. Медики часто повторяют, что все болезни от нервов.

В настоящей работе мы попытались исследовать влияние противоположных эмоций на энергетический потенциал человека с помощью метода ГРВ (газоразрядной визуализации) [2]. Данный метод позволяет фиксировать и изучать энергетические воздействия, так как снимки ГРВ-излучений прежде всего показывают напряжение энергии и ее изменение под влиянием различных внешних и внутренних факторов. Метод ГРВ зарекомендовал себя как очень чувствительный, позволяющий регистрировать малейшие изменения в энергетическом потенциале человека, наблюдать распределение энергии по энергетическим центрам, системам и органам.

Испытуемым в количестве 4-х человек были предложены два видеофильма, вызывающих противоположные эмоции. Сначала испытуемые просмотрели видео автомобильных катастроф, затем - видео свадьбы. Излучения пальцев рук снимались на приборе «ГРВ Камера» до показа видео (исходное состояние), во время просмотра фильмов и после просмотра.

Вызванные при просмотре эмоции были практически одинаковыми у всех испытуемых. Так, видео катастрофы вызвало страх, боль, горечь, неприязнь, отвращение. Видео свадьбы - радость, доброту, нежность, симпатию.

Медики советуют не попадать под влияние негативных эмоций и мыслей, однако при современном ритме жизни от переживаний и стрессов уберечь себя практически невозможно. Результаты экспериментов подтвердили, что отрицательные эмоции негативно воздействуют на организм и здоровье человека, что на ГРВ-снимках отразилось в снижении энергетического потенциала, то есть в значительном уменьшении площади и яркости свечения. Повышение при этом коэффициента активации, отражающего уровень психического состояния человека, свидетельствует о внутреннем беспокойстве, тревожности.

Видео свадьбы, вызвавшее эмоции радости, положительно повлияло на здоровье испытуемых, что сказалось в усилении энергетического потенциала: увеличилась площадь и яркость свечения. Анализ диаграммы распределения энергии по системам и органам выявил заметное повышение энергии в сердечнососудистой системе. Психологи утверждают, что чувство рождает энергию. И мы экспериментально наблюдаем, как чувство радости вызывает большой прилив сил и усиление энергетического потенциала.

Данные предварительные исследования позволили сделать важный вывод о влиянии эмоций на энергетический потенциал человека и возможность изучения данного влияния методом газоразрядной визуализации на приборе ГРВ-Камера.

#### *Библиографический список*

1. Воздействие эмоций на организм. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.scorcher.ru/neuro/stress/stress.php>
2. Kirlionics Technologies I N T E R N A T I O N A L [Электронный ресурс]: URL: <http://www.ktispsb.ru/index.htm>

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПОДОГРЕВА ЛОМА ДЛЯ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ**

*Тихонов А.В., Каблукова М.С., Агапитов Е.Б.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова*

Предварительный подогрев лома на сегодняшний день осуществляется по трем основным схемам: это конвейерный нагрев, нагрев в шахтных подогревателях и нагрев в загрузочных корзинах. Мировой опыт эксплуатации этих вариантов нагрева позволяет рассмотреть достоинства и недостатки каждого.

*Конвейерный нагрев.* Представлен процессом Consteel, который предполагает высокотемпературный нагрев лома теплотой отходящих дымовых газов, и теплотой, вносимой газоокислородными горелками. В этой технологии реализована неэффективная схема теплообмена при противоточном движении дымовых газов и металлического лома, обусловленная тем, что теплообмен главным образом происходит только в верхних слоях загрузки металлического лома, не обеспечивая при этом проникновение газа-теплоносителя вглубь слоя, толщина которого может достигать 1 м. Тепловой к.п.д. нагрева не превышает 20 %. Те-



плопередача излучением от кладки происходит также неэффективно, т.к. куски верхнего слоя загрузки экранируют куски, расположенные ниже. Из-за высокой разницы между температурами верхнего слоя лома и слоями лома, находящимися глубже, корректно оценить среднемассовую температуру нагрева не представляется возможным. Технология нагрева лома в процессе Consteel требует существенной доработки.

*Нагрев в шахтных подогревателях.* Теплообмен в шахтных подогревателях происходит с большей эффективностью, нежели при конвейерном нагреве за счет того, что высокотемпературный газ проходит сквозь весь слой металлического лома. Температура газа падает с 1600 °С до 300...350 °С, что свидетельствует об эффективности происходящего нагрева. Среднемассовая температура подогрева лома лежит в пределах 700...850 °С. Основной проблемой шахтных подогревателей является несоблюдение норм по выбросам токсичных веществ, которые образуются в результате тления органических примесей, входящих в состав лома. Мероприятия, направленные на уменьшения содержания токсичных веществ, требуют значительных экономических затрат, которые порой сводят на нет экономическую эффективность всего предварительного подогрева.

*Нагрев в загрузочных корзинах.* Схема теплообмена в загрузочных корзинах мало чем отличается от нагрева в шахтных подогревателях. Главным отличием является более низкая температура газа-теплоносителя, чем в шахтных подогревателях и составляет 800...1100 °С и, как следствие, более низкая среднемассовая температура нагрева 350...450 °С. Недостатком также является высокое содержание токсичных веществ в отходящих газах.

Температурный уровень экономически оправданного подогрева лома до сих пор является дискуссионным. Тем не менее, можно сформулировать ряд технологических требований, которые предъявляются к процессу нагрева.

1. Создание условий качественного теплообмена, при котором достигаются: среднемассовая температура подогрева лома – 800...900 °С и время нагрева, не превышающее время основного технологического процесса плавления стали в дуговой печи, т.к. подогрев лома должен протекать параллельно с процессом выплавки стали.

Условия качественного теплообмена трудно реализовать в основном из-за того, что обрабатываемый материал имеет сложную форму. Внешний теплообмен характеризуется довольно низкими коэффициентами теплоотдачи, а внутренний теплообмен – высоким термическим сопротивлением по объему нагреваемого материала.

2. Экологичность процесса. Содержащиеся в металлическом ломе органические примеси в процессе нагрева являются источником токсичных выбросов – диоксинов и фуранов. Современные экологические нормы по содержанию этих веществ в атмосферных выбросах составляют  $10^{-10}$  г/м<sup>3</sup>. Основным способом решения этой проблемы является дожигание отходящих дымовых газов при температуре 1200 °С в течение не менее 2 с, затем охлаждение газа перед стадией пылеулавливания до температуры порядка 100 °С [1].

3. Экономическая эффективность. Процесс подогрева лома должен быть экономически целесообразным. Стоимость энергетических ресурсов, используемых для подогрева лома, должна быть ниже затрат на электроэнергию, используемую для нагрева лома до температур подогрева в дуговой печи.

Анализ мирового опыта эксплуатации установок для предварительного подогрева лома показал, что соблюдение на практике всех вышеперечисленных требований в одном устройстве является нерешаемой задачей.

Установки, главным преимуществом которых являлось эффективное теплоусвоение, не соответствовали экологическим нормам по содержанию токсичных веществ в атмосферных выбросах. С другой стороны, решение экологических проблем, требующих денежных затрат на дополнительное топливо для дожигания вредных веществ в дымовых газах, ухудшает экономику плавки [2]. Современные дуговые печи нового поколения, например печи Simetalis EAF Ultimate, конструируются без систем предварительного подогрева лома, ввиду их нецелесообразности [3].

Таким образом, основным недостатком процесса традиционного подогрева лома является образование вредных летучих веществ, которое можно устранить при низкотемпературном подогреве, подогревая лом до температур порядка 200 °С. При этом можно исключить процесс возгона органических примесей и решить ряд следующих задач:

- произвести просушивание металлолома, что позволит уменьшить взрывоопасность загрузки шихты на «болото»;
- снизить на 40-50 кВт·ч/т расход электроэнергии [4].

Просушивание лома в зимний период времени является довольно важной задачей. Лом в местах его сортировки складировается на территории под открытым небом, что ненароком способствует попаданию в лом льда и снега. При загрузке лома с примесью льда и снега в дуговую печь на «болото» происходят сильные взрывы, из-за которых происходят выбросы жидкого металла наружу в цех, что неблагоприятно сказывается на безопасности рабочего персонала. Также сильные взрывы в дуговой печи вызывают разрушение футеровки, что уменьшает срок ее службы.

Для оценки эффективности подогрева лома до температуры 200 °С предлагается использовать любой возможный газ-теплоноситель, температура которого составляет примерно 250 °С.

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать вывод, что низкотемпературный подогрев металлического лома является эффективным, т.к. решаются технологические проблемы, связанные с взрывоопасностью загрузки лома в печь; подогрев позволяет экономить электроэнергию на выплавку стали, и низкотемпературный нагрев соответствует экологическим нормам по выбросу вредных веществ в атмосферу.

#### *Библиографический список*

1. Изучение образования и удаления диоксинов при подогреве лома / И. Суми, Ё. Огаки, К. Ямода и др., пер. с яп. А.Н. Косников. М.: Черметинформация, 2001.
2. Тулуевский Ю.Н., Зинуров И.Ю. Инновации для дуговых сталеплавильных печей: Научные основы выбора. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. 347 с.

3. «Ultimate» – новое решение в области электросталеплавильного производства / У. Вильхельм, М. Хайн, В. Райле, М. Абель, Р. Шютт // Электрометаллургия. 2010. № 1.
4. Егоров А.В. Современная дуговая сталеплавильная печь // Сборник статей научно-технической конференции, посвященной 100-летию М.А. Глинкова. Екатеринбург, 2006.

## К РАСЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ПОДЗЕМНО ПРОЛОЖЕННЫХ ГАЗОХОДАХ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК

*Торошина Д.А., Хворенков Д.А., Варфоломеева О.И.  
Ижевский государственный технический университет, tguug@istu.ru*

Элементы систем газового тракта теплогенерирующих установок работают под воздействием агрессивных факторов, вызванных особыми условиями эксплуатации. Высокая влажность продуктов сгорания, наличие в них серосодержащих соединений, контакт с холодными поверхностями приводит к низкотемпературной коррозии конструкций газоходов. Низкотемпературная коррозия может привести к возникновению аварийных ситуаций, разрушению конструкций. Ситуация усугубляется отсутствием мероприятий по отводу конденсата в газоходах.

Расчет температурного поля в подземно проложенных газоходах в грунте позволит выявить наличие процесса конденсатообразования, оценить величину тепловых потерь в грунт и разработать мероприятия, позволяющие реализовать сухой режим эксплуатации газоходов системы дымоудаления.

Рассматривается подземно проложенный участок газохода с размерами поперечного сечения  $1,0 \times 0,6$  м и длиной 7,5 м, проложенный на глубине 0,5 м до верха газохода.

Расчет температурного поля осуществляется численно с помощью вычислительного программного комплекса FlowVision. Решалась сопряженная задача теплообмена от продуктов сгорания в грунт. Расчетные области приведены на рис. 1.

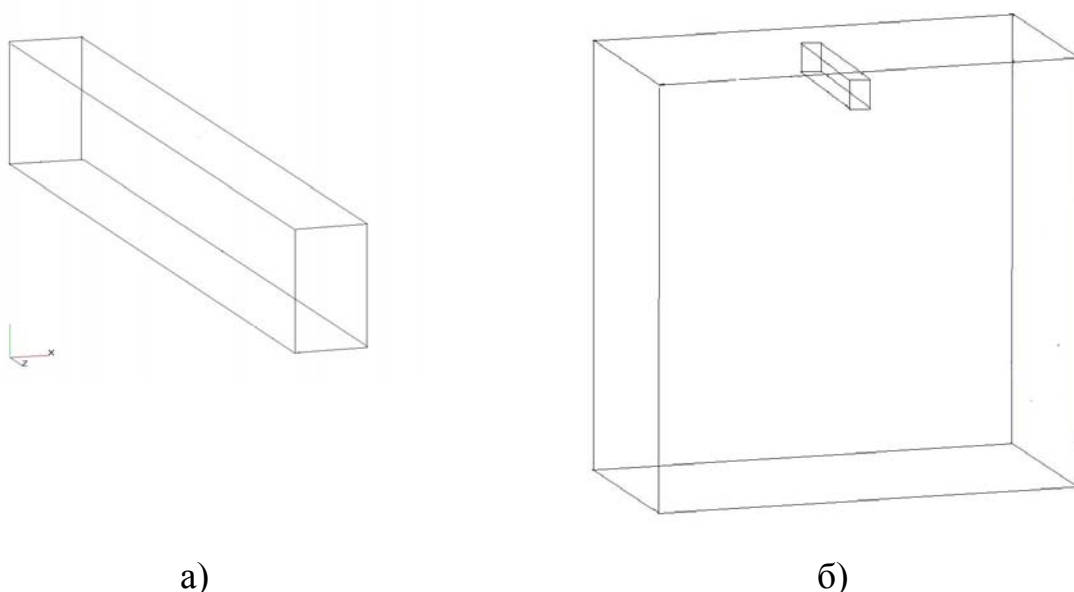


Рис. 1. Расчетные области: а) область течения продуктов сгорания; б) грунт

На входной границе области течения дымовых газов задавалась скорость 10 м/с, температура 150 °С, на выходной границе условия свободного выхода. Остальные границы области – сопряженные с областью грунта.

Область грунта представляет собой параллелепипед высотой 15 м, продольный размер равен длине участка газохода – 7,5 м, ширина – 15 м. На нижней границе области заданы изотермические условия (+10 °С), на верхней – минус 34 °С, на боковых – условия симметрии.

Коэффициент шероховатости внутренней поверхности газохода принят  $k_s = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  (для бетонных поверхностей) [1]. В качестве грунта принят суглинок [2].

В результате расчета были получены поля скорости и температуры в расчетных областях (рис. 2, 3).

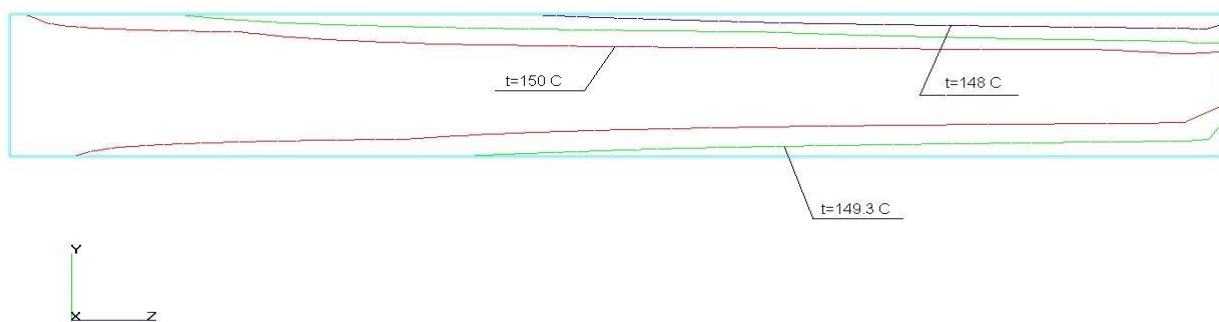


Рис. 2. Поле температуры в расчетной области течения продуктов сгорания

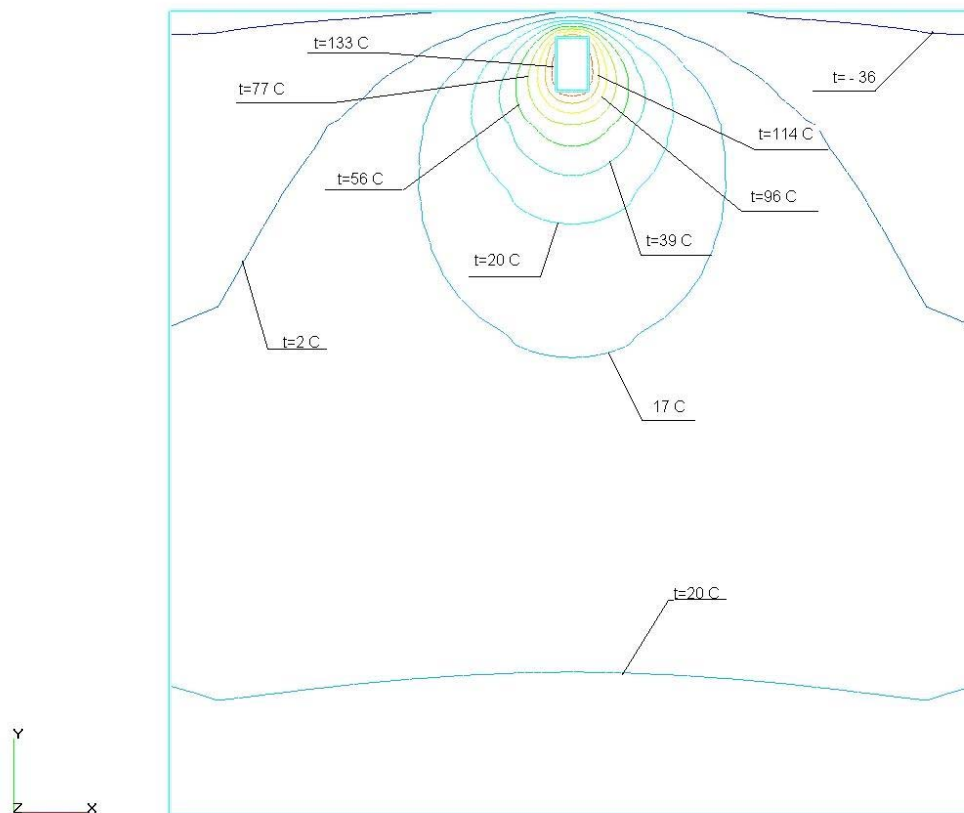


Рис. 3. Поле температуры в расчетной области грунта

В результате численного эксперимента по полученному среднему значению температуры продуктов сгорания на выходе из расчетной области определена удельная потеря тепла одним метром газохода  $q = 0,9 \text{ кВт/м}$ .

Таким образом, расчетами подтверждена необходимость учета теплопотерь в грунт от газоходов, что в инженерных расчетах часто не учитывается. Полученные результаты также позволяют оценить возможность конденсации в газоходах, что определяет наличие низкотемпературной коррозии в них.

*Библиографический список*

1. Дужих Ф.П., Осоловский В.П. Промышленные дымовые и вентиляционные трубы. М.: Теплотехник, 2004, 461 с.
2. Назмеев Ю. Г. Мазутные хозяйства ТЭС. М.: МЭИ, 2002. 612 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО СБРОСНОГО ТЕПЛА С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

*Трофимова Т.В., Федотова В.С.,  
Альметьевский государственный нефтяной институт,  
teplotexAGNI@yandex.ru*

В последнее время все более пристальное внимание уделяется проблемам энергосбережения. Одним из способов экономии топливно-энергетических ресурсов и защиты окружающей среды от теплового загрязнения является теплонасосная технология. Тепловые насосы позволяют использовать возобновляемую низкотемпературную энергию окружающей среды на нужды высокотемпературного объекта (системы теплоснабжения, отопления и горячего водоснабжения).

Источником низкопотенциальной теплоты для теплового насоса может служить грунтовая вода, наружный воздух, тепло грунта, низкопотенциальные вторичные энергоресурсы.

Практическое использование ТН в России на сегодняшний день не велико, общая тепловая мощность всех теплонасосных установок в России составляет порядка 100 МВт, а их количество не превышает 150 образцов.

Зачастую производственные помещения занимают обширные территории, которые достаточно проблематично или финансово накладно отапливать. Однако обогрев в холодное время года необходим как для обеспечения комфортных условий для работников предприятия, так и для создания необходимого микроклимата в помещении. Сегодня для обогрева производственных помещений используют различное оборудование. Многие владельцы промышленных помещений стараются найти альтернативные способы обогрева, чтобы сэкономить на оплате таких ресурсов, как электроэнергия или газ. И в этом случае тепловые насосы для отопления выступают идеальным решением. В результате технологических процессов на промышленных предприятиях возникает большое количество низкотемпературной тепловой энергии, которая не используется в технологическом цикле. В зависимости от конкретных условий отработанное тепло можно использовать в тепловом насосе для теплоснабжения цехов, мастерских, складов и т.д. промышленного предприятия.

Тепловой насос тратит энергию не на выработку тепла, как электрообогреватель, а только на перемещение фреона по системе. Основная же часть тепла передается потребителю от источника. Этим и объясняется низкая себестоимость тепла от теплового насоса.

Схематично тепловой насос можно представить в виде системы из трех замкнутых контуров: в первом, внешнем, циркулирует теплоотдатчик, во втором – хладагент (вещество, которое испаряется, отбирая тепло у теплоотдатчика, и впоследствии конденсируется, отдавая тепло теплоприемнику), в третьем – теплоприемник (вода в системах отопления и горячего водоснабжения здания). Внешний контур (коллектор) представляет собой уложенный в землю или в воду полиэтиленовый трубопровод, в котором циркулирует незамерзающая жидкость – антифриз. Во второй (внутренний) контур, где циркулирует хладагент, как и в бытовом холодильнике, встроены аппараты: испаритель и конденсатор, а также устройства, которые меняют давление хладагента – распыляющий его в жидкой фазе дроссель (узкое калиброванное отверстие) и сжимающий его уже в газообразном состоянии компрессор.

Жидкий хладагент продавливается через дроссель, его давление падает, и он поступает в испаритель, где вскипает, отбирая тепло, поставляемое коллектором. Далее газ, в который превратился хладагент, всасывается в компрессор, сжимается и выталкивается в конденсатор. Конденсатор является теплоотдающим узлом теплового насоса: здесь тепло принимается водой в системе отопительного контура. При этом газ охлаждается и сгущается в жидкость, чтобы вновь подвергнуться разряжению в расширительном вентиле и вернуться в испаритель. После этого рабочий цикл начинается сначала.

Тепловые насосы для отопления, которые используются для обогрева производственных помещений, работают бесшумно и не создают посторонней шумовой активности, которая мешает рабочему процессу. Такое оборудование для отопления является максимально удобным для использования в производственных помещениях. При выборе оборудования для отопления производственных помещений немаловажным фактором выступает стоимость обслуживания отопительных систем. Тепловые насосы неприхотливы в обслуживании. КПД тепловых насосов в 7–8 раз выше, чем у традиционных источников тепловой энергии. Эта технология позволяет вырабатывать 2,5 кВт тепловой энергии при расходе всего 1 кВт электроэнергии. Таким образом, затраты на электроэнергию в 2,5 раза меньше, чем при традиционном преобразовании электроэнергии в теплоту.

Стоимость насоса и монтажа системы составляет около 300–1200 долл. на 1 кВт необходимой мощности отопления. Но грамотный расчет убедительно доказывает экономическую целесообразность применения этих установок: капиталовложения окупаются, по ориентировочным подсчетам, за 4–9 лет, а служат тепловые насосы 15–20 лет. Кроме того, их использование позволяет существенно снизить выбросы CO<sub>2</sub> и NO<sub>2</sub> (по сравнению с традиционными системами теплоснабжения – в 2–5 раз). Таким образом, внедрение тепловых насосов в автономные системы тепло- и хладоснабжения позволит комплексно решить проблемы: энергосбережения, экономическую и экологическую.

## БЕЗРЕАГЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ВОДОПОДГОТОВКИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

*Трофимова Т.В., Федотова В.С.  
Альметьевский государственный нефтяной институт  
teplotexAGNI@yandex.ru*

Образование накипных отложений на теплообменных поверхностях является одной из главных проблем теплоэнергетики на протяжении всей истории ее развития. Накипеобразованию подвержены теплообменники различных типов и назначения: конденсаторы, деаэраторы, пароохладители, инжекторы, котлы и испарители, все виды нагревателей, в том числе пластинчатые и скоростные. Отложения солей карбонатной жесткости на теплообменном оборудовании вызывает уменьшение эффективности его работы. За счет различных значений коэффициентов теплопроводности металла и образующегося слоя накипи, увеличение толщины слоя отложений приводит к снижению температуры нагреваемой воды. Достаточно сказать, что образование на внутренней поверхности котла слоя накипи толщиной всего 1 мм влечет за собой перерасход 5–8 % топлива, а некачественная водоподготовка (или ее отсутствие) может привести к снижению к.п.д. системы на 15–30 %. Даже при непродолжительной работе котлов на химически неподготовленной воде толщина слоя накипи может достигнуть 50 мм. С течением времени энергетические потери могут составлять 60 %.

Борьбу с накипью осуществляют в основном двумя методами: удалением накипеобразователей до поступления воды в теплоагрегат (предварительная обработка воды химическими методами, в ионообменных фильтрах и др.) и созданием в них специальных условий, при которых образуется шлам (внутрикотловая обработка, заключающаяся в дополнительной присадке в котлы некоторых химических реагентов, например фосфатов). Наряду с дорогостоящими и экологически неблагоприятными способами борьбы с накипью существуют методы безреагентной обработки воды с помощью различных физических воздействий. Устройство борьбы с накипью – аппаратный комплекс УПОВС–2, в котором имеется возможность обрабатываемую воду подвергнуть как раздельному, так и совместному действию нескольких физических факторов – магнитного поля, электрического тока и ультразвука. Положительный результат благодаря комплексности воздействия достигается практически на любой воде.

Эффект комбинированного воздействия на обрабатываемую воду перечисленных физических факторов состоит в создании в водной среде огромного количества центров микрокристаллизации для солей жесткости, которые из-за своих микронных размеров (75–80 % имеют размер не более 0,5 мкм) длительно остаются циркулировать в объеме движущей, и даже статической, водной среды (до 10 суток), не выпадая в виде отложений накипи на стенках теплоагрегатов и трубопроводов и др. оборудования.

Вторичными эффектами являются уменьшение вязкости воды, поверхностного натяжения и интенсификация процессов коагуляции взвешенных час-

тиц, что приводит к облегчению удаления из воды шлама, содержащего соли накипи.

Электрическое поле мощно генерирует образование центров микрокристаллизации, подщелачивает воду, вызывает значительные химические процессы с выделением из растворов карбонатов кальция, бикарбоната магния, железа и др., электрические процессы протекают с поглощением растворенного кислорода (деаэратор не нужен); интенсифицирует процессы коагуляции взвешенных частиц, продляет «время жизни», или «магнитную память» воды до 10 суток минимум.

Магнитное поле усиливает микрокристаллизацию, дегазирует воду, увеличивает и ускоряет растворяющие, смачивающие, адсорбирующие и коагуляционные свойства активированной воды на длительный срок; предотвращает образование накипи и коррозии, пассивацию и водородную поляризацию электродов.

Ультразвук усиливает микрокристаллизацию и диспергацию твердых частиц, дегазирует воду, интенсифицирует электрические процессы (сепарация окислов железа увеличивается в 3–4 раза), предотвращает накипь и коррозию.

При массовом применении результаты будут очень впечатляющими, так как отпадает необходимость в объемной и затратной химводоподготовке и деаэрации (составляют не менее 60 % всех затрат на котельной), сократятся существенно эксплуатационные расходы, так как будут сведены только к оплате потребленной аппаратом электроэнергии (небольшой), исчезнет, или существенно улучшится экологическая нагрузка на природу (не будут применяться химические реагенты).

Технология проста в изготовлении и в эксплуатации, поэтому каких-либо высококвалифицированных кадров для ее освоения не требуется. Более того после настройки аппарат нормально работает без присутствия человека. Для его обслуживания достаточно дежурного персонала котельной.

Применения аппаратов типа УПОВС–2 на подавляющем большинстве котельных, ЦТП, ТП может полностью решить все вопросы качественной водоподготовки (при ее отсутствии), заменить имеющуюся химическую водоподготовку, обеспечить умягчение, деаэрацию, обезжелезивание, обеспечить гарантированную защиту оборудования и сетей от накипи и коррозии. Накипь и коррозия перестают образовываться сразу после включения аппарата, а имеющиеся отложения постепенно удаляются за 3–5 месяцев. Также позволяет исключить применение химической очистки оборудования, сетей отопления и ГВС, обеспечить экологически безупречную водоподготовку, минимальные эксплуатационные расходы.

Использование экологически безвредных физических воздействий, низкая энергоемкость, гарантированная эффективность в различных схемах, где в технологическом процессе участвует вода, делают аппарат УПОВС–2 уникальным инновационным оборудованием для безреагентной обработки водных систем для многих отраслей народного хозяйства и не имеет аналогов.



## **ИНТЕГРАЦИЯ ВУЗОВ И ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ С ЦЕЛЬЮ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ**

*Трубицын К.В., Елфимов С.В.  
Самарский государственный технический университет,  
НОУ ВПО «Поволжский институт бизнеса», г. Самара  
tef-samgtu@yandex.ru*

Сегодня подготовке высококвалифицированных специалистов для инновационного развития различных отраслей экономики России придается большое значение. При этом одну из наиболее значимых ролей играет непрерывная подготовка, предусматривающая взаимодействие сферы образовательных услуг (учреждения среднего, средне-специального и, впоследствии, высшего образования) и организаций производственной сферы. А в числе профессий и специальностей инновационного характера сегодня особый приоритет отдается именно техническим – согласно Перечню профессий начального профессионального образования и специальностей среднего профессионального образования, необходимых для применения в области реализации приоритетных направлений модернизации и технологического развития экономики Российской Федерации, утвержденных Распоряжением Правительства РФ от 03.11.2011 № 1943-р.

На наш взгляд, для реализации непрерывного образовательного процесса в условиях инновационного развития экономики возможно создание среды непрерывного образования на любом уровне взаимодействия. Необходима продуктивная партнерская взаимосвязь вузов и предприятий в целях подготовки высококвалифицированных, мобильных специалистов, отвечающих требованиям инновационных условий профессиональной деятельности.

Именно через партнерскую взаимосвязь вузов и предприятий, без снижения значимости фундаментального знания, усиливается качественная практическая подготовка студентов вуза, а для предприятия – вносятся элементы инновационности, вариативности, структурированности.

В условиях взаимодействия вуза и предприятия по реализации образовательных программ раскрывается профессиональный образовательный потенциал предприятия благодаря использованию современных образовательных технологий: дистанционное и открытое образование, доступные сетевые электронные курсы и библиотеки, постоянно действующие электронные конференции, отчеты о научно-исследовательской деятельности и проектные разработки в сетевых дневниках.

Индивидуальные профессионально-образовательные траектории выполняют функции управления (включая планирование и мониторинг) профессиональным и личностным развитием, а также реализуют обратную связь между вузом и предприятием, благодаря чему обеспечивается личностное и профессиональное развитие как студентов и молодых специалистов, так и преподавателей и ведущих специалистов предприятия.

Анализ современной практики позволил выделить следующие основные формы взаимодействия вуза с предприятиями (рис. 1).



Рис. 1. Организация взаимодействия вуза и предприятия

На наш взгляд, перспективы сотрудничества вузов с предприятиями заключаются в:

- активном расширении взаимодействия вузов с предприятиями по обучению специалистов на основе целевой подготовки, по организации стажировок и практики студентов в организациях; по реализации совместных проектов в рамках подготовки и повышении квалификации кадров;
- проведении работы вузов по выявлению новых потребностей и созданию гибких, инновационных краткосрочных образовательных программ обучения и переподготовке персонала предприятий;
- создании при вузах координационных советов или центров по взаимодействию с предприятиями в области обучения персонала и студентов с целью решения задач повышения качества образования (разработка учебных планов, рабочих программ учебных дисциплин с учетом пожеланий потенциальных работодателей и т. д.);
- продолжении работы по взаимодействию вузов с предприятиями в рамках научных исследований и разработке инновационных проектов;
- принятии законодательства, поощряющего меценатство в сфере образования и позволяющего предоставлять работодателям льготы по налогообложению в виде вычетов из налогооблагаемой базы расходов на обучение студентов, переподготовку персонала этих предприятий или на финансирование вузовских инновационных или научных разработок;
- активном приглашении для работы в вузах по совместительству руководителей и ведущих специалистов предприятий [1].

Подводя итог обозначенным выше тенденциям, можно схематично представить взаимодействие вузов и промышленных предприятий в целях формирования кадров для инновационного развития (рис. 2).

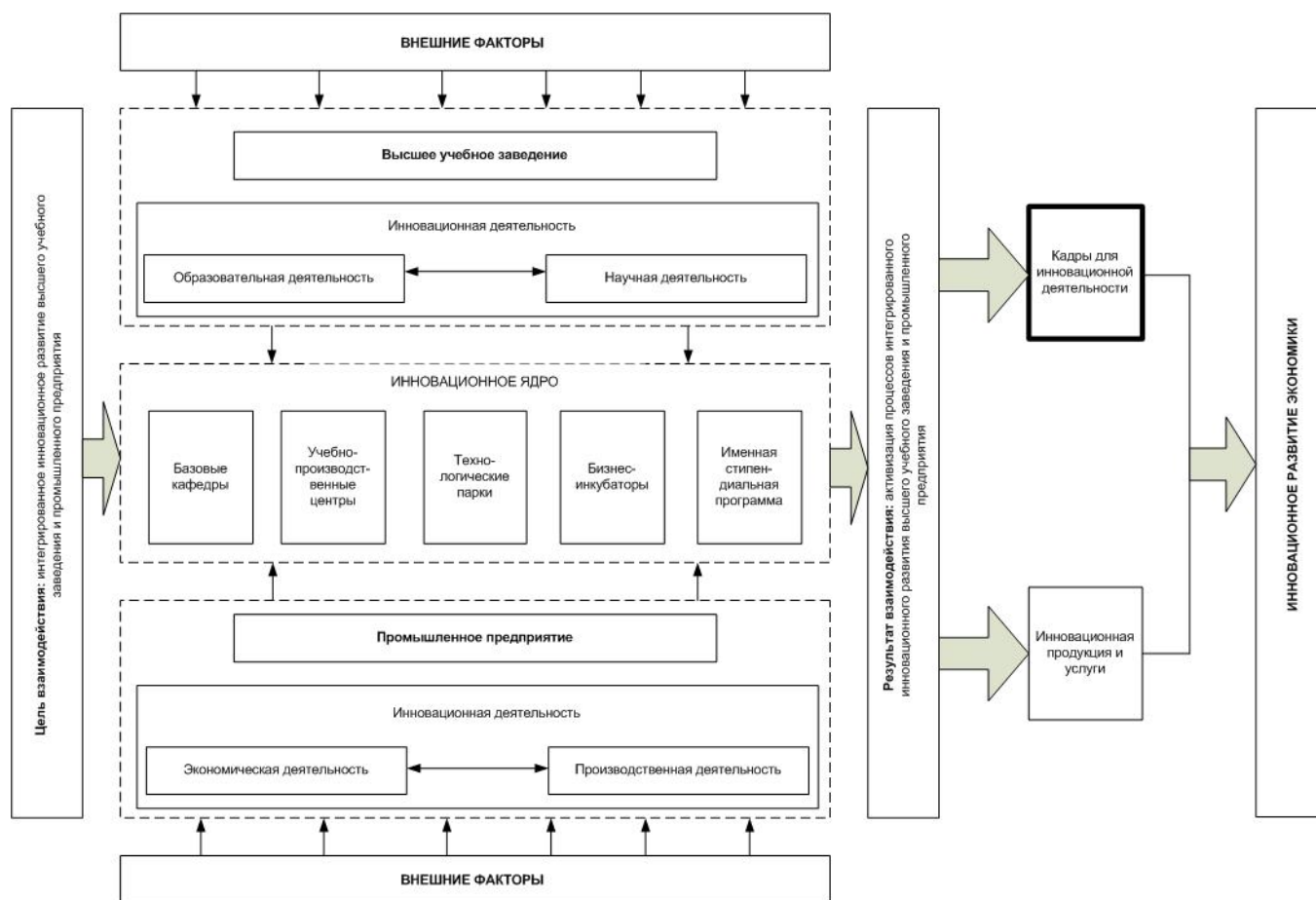


Рис. 2. Взаимодействие вузов и промышленных предприятий в целях формирования кадров для инновационного развития

#### Библиографический список

1. Трубицын К.В., Митрофанова Е.А. Профессиональный образовательный потенциал: по пути накопления // Кадровик. 2012. № 4. С. 127-132.

## ОБ ОПЫТЕ ПРОВЕДЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОЛИМПИАД

Трубицын К.В., Муранова М.М.

Самарский государственный технический университет, tef-samgtu@yandex.ru

Всероссийская студенческая олимпиада (ВСО) – это соревнование студентов в творческом применении знаний и умений по дисциплинам, изучаемым в высшей школе, а также в профессиональной подготовленности будущих специалистов.

В настоящее время ВСО проводятся в виде предметных олимпиад, конкурсов по специальностям (направлениям) и конкурсов выпускных квалификационных работ.

С 5 по 7 ноября 2012 г. на базе теплоэнергетического факультета (ТЭФ) Самарского государственного технического университета (СамГТУ) проходил II-й (региональный) тур ВСО по специальностям 140104 «Промышленная теплоэнергетика» и 140105 «Энергетика теплотехнологий» (при переходе к двухуровневой системе подготовки специалистов олимпиада будет проводиться для направления 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»).

Региональный этап Всероссийской студенческой олимпиады подразумевает его проведение органами исполнительной власти субъектов Российской

Федерации, осуществляющими управление в сфере образования, либо советами ректоров высших учебных заведений. Согласно письму департамента развития профессионального образования Минобрнауки России № 12-725 от 18.05.2012 г. II этап ВСО проводится, начиная с 1 сентября 2012 г.

Традиционно региональный этап ВСО по специальностям «Промышленная теплоэнергетика» и «Энергетика теплотехнологий» проводится на базе СамГТУ уже больше 10 лет. Организатором олимпиады выступает кафедра «Промышленная теплоэнергетика» ТЭФ (зав. кафедрой – заслуженный работник Минтопэнерго России, почетный энергетик РФ, д.т.н., профессор Щелоков А.И.).

В этом году участие в олимпиаде приняли команды трёх вузов:

- Самарский государственный технический университет (г. Самара);
  - Саратовский государственный технический университет (г. Саратов);
  - Ульяновский государственный технический университет (г. Ульяновск).
- Общее количество участников олимпиады – 11 человек.

Итоги проведения олимпиады в общекомандном и личном (индивидуальном) зачетах представлены в таблице.

Все участники олимпиады получили свидетельства участников, а победители и призеры – не только соответствующие дипломы, но и ценные подарки от Оргкомитета.

**Итоги II (регионального) тура Всероссийской студенческой олимпиады по специальностям «Промышленная теплоэнергетика» и «Энергетика теплотехнологий» (г. Самара, СамГТУ, 5–7 ноября 2012 г.)**

№	ВУЗ	Ф.И.О. студента	Промышленная теплоэнергетика			Энергетика теплотехнологий		
			Кол-во баллов	Личное место	Командное место	Кол-во баллов	Личное место	Командное место
1	Саратовский государственный технический университет (СГТУ)	Васильев Вадим Владимирович	12,8	3	1	44		2
		Егоров Михаил Андреевич	17,5	1		47		
		Синев Дмитрий Алексеевич	16,9	2		56	3	
2	Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ)	Петров Антон Вячеславович	12,2	3	2	65	1	1
		Шакирова Динара Илдаровна	5,5			51	3	
		Школин Евгений Владимирович	15,1	2		62	2	

№	ВУЗ	Ф.И.О. студента	Промышленная теплоэнергетика			Энергетика теплотехнологий		
			Кол-во баллов	Личное место	Командное место	Кол-во баллов	Личное место	Командное место
3	Самарский государственный технический университет (СамГТУ-1)	Светлакова Марина Сергеевна	5,2		3			
		Мануйлова Алина Сергеевна	4,3					
		Денисов Александр Владимирович	5,8	3				
4	Самарский государственный технический университет (СамГТУ-2)	Пугачев Артем Николаевич				60	3	3
		Городушкин Александр Викторович				61	2	

## СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЯМИ ПОМЕЩЕНИЙ С ЕДИНЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ВВОДОМ

Усков А.Ю.

Южно-Уральский государственный университет

UskovAlexey@mail.ru

Традиционные простейшие системы электроотопления осуществляют поддержание температурного режима в помещении, используя датчик температуры. При этом включение электрообогревателей на полную мощность осуществляется при температуре окружающей среды ниже  $t_1$ , а выключение – при температуре выше  $t_2$ . Данный способ управления системами электроотопления несет в себе ряд существенных недостатков, которые приводят к последствиям:

1. Нежелательный перегрев помещения:

Нежелательный перегрев помещения на величину –  $\Delta t$  в результате управления электрообогревателями помещения возникает вследствие инерционности системы управления. При этом  $\Delta t \sim \phi$ , где  $\phi$  – время реакции системы.

2. Увеличение тепловых потерь помещения:

В гражданских и жилых зданиях тепловые потери помещений состоят из тепловых потерь, которые рассчитываются по следующей формуле, Вт:

$$Q_{0гр1} = \frac{F \cdot (t_B - t_H) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n}{R_u}, \quad (1)$$

где  $F$  – площадь защитного сооружения,  $m^2$ ;  $t_B$  – температура в помещении,  $^{\circ}C$ ;  $t_H$  – температура наружного воздуха,  $^{\circ}C$ ;  $\beta$  – добавочные тепловые потери,

доли от основных;  $n$  – коэффициент, который учитывает положение ограждения;  $R_0$  – сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Введем в приведенное соотношение (1) величину  $\Delta t$  – перерегулирование температуры. При этом получаем:

$$Q_{\text{огр2}} = \frac{F \cdot (t_{\text{в}} + \Delta t - t_{\text{н}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n}{R_0} \quad (2)$$

Увеличение тепловых потерь в результате перерегулирования составит:

$$Q_{\text{огр2}} - Q_{\text{огр1}} = \frac{F \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n}{R_0} \Delta t \quad (3)$$

Таким образом, при прочих равных условиях, величина тепловых потерь системы пропорциональна значению  $\Delta t$ , то есть, чем больше инерционность регулятора системы электроотопления ( $\Delta t \sim \phi$ ), тем больше тепловые потери.

### 3. Перерасход электроэнергии:

Перерасход электрической энергии при осуществлении управления системами электрообогрева помещений по двум значениям температуры – нижнему и верхнему – неизбежен, но чем меньше поддерживаемая разница температур, тем меньше будет перерасход электрической энергии.

### 4. Увеличение потерь электроэнергии в питающей сети:

Рассмотрим ситуацию, при которой к питающей сети одного помещения подключены параллельно обогреватель и какой-либо электрический прибор. Для упрощения расчетов примем, что ток потребления обогревателя и электрического прибора равен  $I$ , а время работы электрического прибора равно  $0,5 t$  (рис. 1). В случае если система управления электрообогревателем помещения не осуществляет контроль потребляемой мощности, то обогреватель и электрический прибор будут работать одновременно. В противном случае интервалы их работы будут разнесены во времени (рис. 1 – принято, что  $I$  является максимальным током нагрузки для питающей сети рассматриваемого помещения).

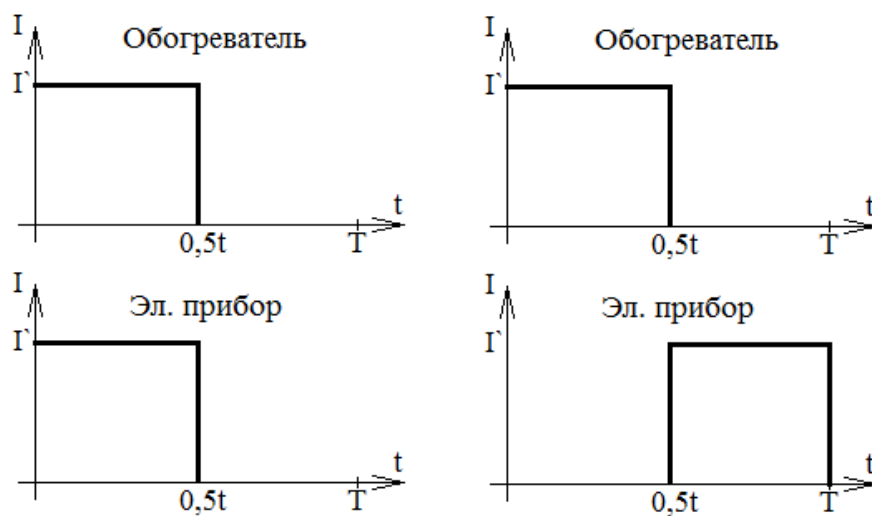


Рис. 1. Различные способы управления мощностью электрообогревателя

Мощность потерь электроэнергии в питающей сети ( $P_C$ ):

$$P_C = I^2 \cdot R_C \quad (4)$$

где  $R_C$  – активное сопротивление питающей сети, Ом.

Определим потери электроэнергии в питающей сети ( $W_C$ ):

$$W_C = P_C \cdot T = I^2 \cdot R_C \cdot T, \quad (5)$$

где  $T$  – рассматриваемый интервал времени, с.

1 случай – обогреватель и электрический прибор работают одновременно:

$$W_{C1} = P_{C1} \cdot T_1 = 4I^2 \cdot R_C \cdot 0,5 = 2I^2 \cdot R_C. \quad (6)$$

2 случай – обогреватель и электрический прибор работают поочередно:

$$W_{C2} = P_{C2} \cdot T_2 = I^2 \cdot R_C \cdot 1 = I^2 \cdot R_C \quad (7)$$

Соответственно получаем соотношение потерь электроэнергии:

$$\frac{W_{C1}}{W_{C2}} = \frac{2I^2 \cdot R_C}{I^2 \cdot R_C} = 2 \quad (8)$$

При подключении группы электрических приборов к одной питающей сети параллельно с электрообогревателем данного помещения потери электроэнергии в питающей сети будут существенно снижены (8) при использовании способа управления, который осуществляет регулирование общей мощности электронагревательных приборов в зависимости от мощности, потребляемой всеми прочими электроприборами, находящимися в помещении.

5. Завышение расчетной мощности питающей сети:

Увеличение расчетной мощности питающей сети вызвано необходимостью обеспечения одновременной работы электронагревателей, которые включены на полную мощность, и бытовых электроприборов в помещении.

Теплопоступление от потребителей электроэнергии связано с потреблением активной составляющей мощности из электросети. Измерение активной мощности позволяет определить максимально возможные теплопоступления от прочих потребителей электроэнергии и заблаговременно снизить мощность электрообогревателей.

Структурная схема предлагаемого устройства управления обогревателями помещения приведена ниже (рис. 2). Сетевое напряжение  $U_C$  через регулятор мощности 1 подается на электрообогреватели 2, а также через датчик активной мощности 3 на прочие потребители электроэнергии 4, находящиеся в этом же помещении. Температура окружающей среды в помещении измеряется регулятором температуры 5. Сигналы с регулятора температуры 5 и датчика активной мощности 3 поступают на входы суммирующего элемента. Выходной сигнал с суммирующего элемента, представляющий собой разность сигналов регулятора температуры 5 и датчика активной мощности 3, подается на управляющий вход регулятора мощности 1. Регулятор температуры 5 сравнивает текущее значение температуры в помещении с заданным значением и на выходе формирует сигнал. В соответствии с данным сигналом регулятор мощности 1 осуществляет управление мощностью электрообогревателя 2.

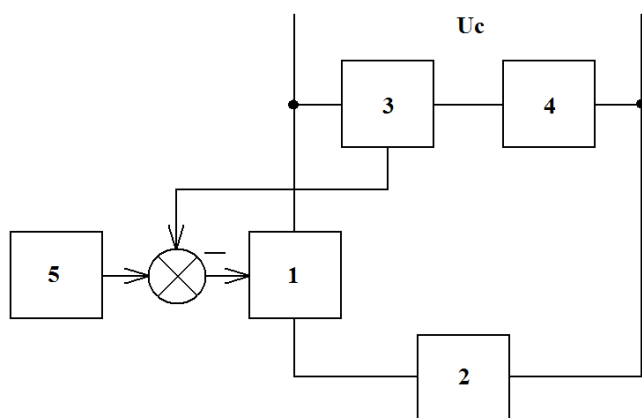


Рис. 2. Структурная схема устройства управления

Предложенный способ управления электрообогревателями помещения позволяет поддерживать равенство

между всеми теплоступлениями в помещении и текущими тепловыми потерями. Электронагреватели включаются на минимально необходимую в данный момент времени мощность, и работают с минимально требуемой температурой рабочей поверхности. При этом значительно снижается расход электроэнергии на обогрев и уменьшается расчетная мощность, как квартирной сети, так и всего жилого дома в целом.

#### *Библиографический список*

1. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий / Тульчин И.К., Нудлер Г.И. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1990. 480 с.
2. Электрические кабельные системы отопления. Энергетическое сопоставление / В.В. Пырков. Киев: ООО «Медиа-Макс», 2004. 88 с.
3. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бородач. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЧЕЛОВЕКА. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

*Ушаридзе А., Ануфриева Е.И.  
УрФУ, elenanufrieva@rambler.ru*

Сегодня весь мир поставлен перед проблемой более эффективного использования энергии и нахождения новых источников энергии. Чтобы успешно решать задачи энерго- и ресурсосбережения, необходимо прежде всего озаботиться состоянием собственных энергоресурсов. Ведь в каждом из нас заложен мощный потенциал энергии, который дает нам возможность двигаться, работать, жить, мыслить, творить.

Общеизвестно, что движение является основным стимулятором жизнедеятельности организма человека. При недостатке движений наблюдается, как правило, ослабление физиологических функций, понижается тонус и жизненная активность организма. Физические тренировки активизируют физиологические процессы и способствуют обеспечению восстановления нарушенных функций у человека. Поэтому физические нагрузки являются средством неспецифической профилактики ряда функциональных расстройств и заболеваний, а лечебную

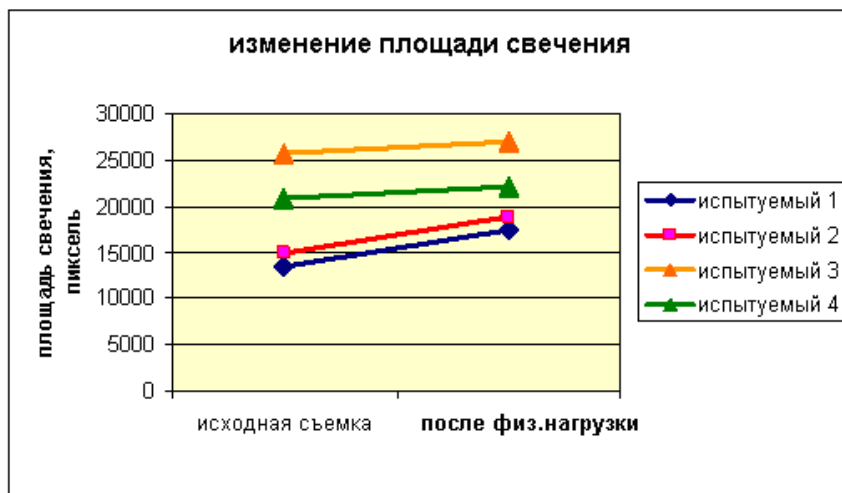


гимнастику следует рассматривать как метод восстановительной терапии. Физические упражнения воздействуют на все группы мышц, суставы, связки, увеличиваются тонус мышц, их эластичность, сила и скорость сокращения. Усиленная мышечная деятельность вынуждает работать с дополнительной нагрузкой сердце, легкие и другие органы и системы нашего организма, тем самым повышая функциональные возможности человека, его сопротивляемость неблагоприятным воздействиям внешней среды. Во время физических нагрузок усиливается кровоток: кровь приносит к мышцам кислород и питательные вещества, которые в процессе жизнедеятельности распадаются, выделяя энергию. При движениях в мышцах дополнительно открываются резервные капилляры, количество циркулирующей крови значительно возрастает, что вызывает улучшение обмена веществ. Под влиянием умеренных физических нагрузок увеличиваются работоспособность сердца, содержание гемоглобина и количество эритроцитов, повышается фагоцитарная функция крови.

Физические упражнения способствуют ускорению регенеративных процессов, насыщению крови кислородом, пластическими («строительными») материалами, что ускоряет выздоровление. При многих заболеваниях правильно дозированные физические нагрузки замедляют развитие болезненного процесса и способствуют более быстрому восстановлению нарушенных функций.

Для того чтобы оценить степень влияния физической нагрузки на энергетические ресурсы человека, был использован метод Газоразрядной Визуализации - ГРВ-метод. Метод ГРВ представляет собой компьютерную регистрацию и последующий анализ газоразрядного свечения биологических объектов, помещенных в электромагнитное поле высокой напряженности. Прибор для регистрации газоразрядного свечения объектов «ГРВ Камера» позволяет получать на экране компьютера статические и динамические изображения свечения газового разряда (ГРВ-граммы), сохранять их в виде компьютерных файлов и проводить математическую обработку полученных данных. Прибор имеет следующие параметры: амплитуда биполярных импульсов от 3 до 20 кВ с непрерывно/ступенчатой регулировкой; длительность импульсов 10 мс; частота следования импульсов до 1000 Гц. Одним из основных вопросов построения систем ГРВ является выбор наиболее информативного спектрального диапазона излучения, так как от этого зависит построение оптических схем устройств. Таким спектральным диапазоном определен ультрафиолетовый диапазон излучения ГРВ 250-400 нм, где энергетическая светимость ГРВ свечения составляет  $1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>.

Методика эксперимента заключалась в снятии исходного состояния (без нагрузки) и съемки излучений пальцев рук после физической нагрузки в виде 20 приседаний. Результаты проведенных экспериментов представлены на рисунке. Видно, что у всех четырех испытуемых физические упражнения вызвали усиление энергетического потенциала в среднем от 10 до 25 %. Причем, чем выше исходный энергетический потенциал испытуемого, тем меньше изменение при воздействии физической нагрузки (испытуемые 3 и 4).



Изменение площади свечения испытуемых при физической нагрузке

Таким образом, результаты проведенного исследования убедили нас, что

физическая нагрузка успешно восстанавливает наши энергетические ресурсы, укрепляет и приводит в равновесие системы нашего организма, усиливая энергетический потенциал. Из этого можно сделать вывод, что физические упражнения надо рассматривать не только как развлечение и отдых (что важно), но и как средство сохранения здоровья (что ещё более важно!).

#### Библиографический список

1. Kirlionics Technologies I N T E R N A T I O N A L [Электронный ресурс]: URL: <http://www.ktispb.ru/index.htm>
2. Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001. 360 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НАТРИЯ В ТРУБОПРОВОДАХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

Фиш Н.А., Анников С.В., Ташлыков О.Л.  
УрФУ, ifish1008@gmail.com

Приведены особенности производства работ на натриевом оборудовании. Проведено исследование режимов принудительного охлаждения натрия при использовании специального устройства с помощью моделирования в программном комплексе SolidWorks.

Во всех действующих в настоящее время реакторах на быстрых нейтронах в качестве теплоносителя используется жидкий натрий. Особенностью натриевого теплоносителя является его химическая активность по отношению к воде, пару и воздуху, а в первом контуре реакторов – также активация под воздействием нейтронного излучения. Радиоактивность теплоносителя первого контура при работе реактора определяется радионуклидом  $^{24}\text{Na}$  ( $T_{1/2} = 15,005$  ч). После останова реактора и распада  $^{24}\text{Na}$  радиоактивность натрия определяется изотопом  $^{22}\text{Na}$  ( $T_{1/2} = 2,602$  лет) [1].

Поскольку натрий I контура активируется, в проекте энергоблоков АЭС с реакторами на быстрых нейтронах был реализован II контур – промежуточный. Радиоактивность натрия II контура низка и практически не влияет на радиационную обстановку в помещениях.

В соответствии с требованиями Правил охраны труда при эксплуатации тепломеханического оборудования и тепловых сетей атомных станций ОАО «Концерн Росэнергоатом» технология вскрытия оборудования или трубопровода и их ремонта должна исключать плавление натрия внутри трубопровода или оборудования. Поэтому работы по вскрытию оборудования или трубопроводов с натрием разрешается производить при их температуре и температуре отключенных соседних зон и дренажей не более 60 °С [2].

Кроме того, при выполнении ряда работ без вскрытия трубопровода или оборудования с натрием, не связанных с опасностью их повреждения (например, замена или ремонт электронагревателей обогрева, теплоизоляции, ревизия ходовых гаек арматуры), слив натрия не производится, но его циркуляция прекращается, и ремонтируемый участок охлаждается до температуры не выше 60 °С.

На практике охлаждение участков натриевых трубопроводов производится обдувом сжатым воздухом. Это требует значительного времени на охлаждение (до нескольких суток) ввиду низкой эффективности процесса охлаждения, больших расходов сжатого воздуха, а при замораживании трубопроводов с радиоактивным натрием приводит к увеличению дозовых затрат персонала. Поэтому представляет интерес использование специального быстросъемного устройства для заморозки и охлаждения натрия при ремонте.

В данной работе приведены результаты моделирования процессов охлаждения натрия с помощью разработанной конструкции быстросъемного устройства для заморозки натрия в трубопроводе с использованием программного комплекса SolidWorks.

Первый этап компьютерного моделирования включает создание графической модели исследуемого участка в программном комплексе SolidWorks. Модель устройства для охлаждения представляет собой цилиндрический элемент (кожух), диаметр которого определяется исходя из диаметра трубопровода с натрием и величины кольцевого зазора. Длина кожуха в представленном варианте составляет около 1 м. Вторым элементом модели является участок трубопровода, заполненного натрием (в данном варианте наружный диаметр принят 100 мм). Третьим и четвертым элементами модели являются «торцевые крышки» для корректного создания граничных условий.

На втором этапе к модели был применен программный модуль SolidWorksFlow Simulation. При этом были заданы стандартные параметры сжатого воздуха на входе в кожух (температура  $t = 25$  °С, давление  $P_1 = 0,66$  МПа), рассмотрены различные значения его расхода. Для имитации воздействия соседней тепловой зоны был задан тепловой поток по сечению трубопровода.

На третьем этапе было проведено моделирование процесса охлаждения натриевого трубопровода при разных расходах сжатого воздуха (рис. 1).

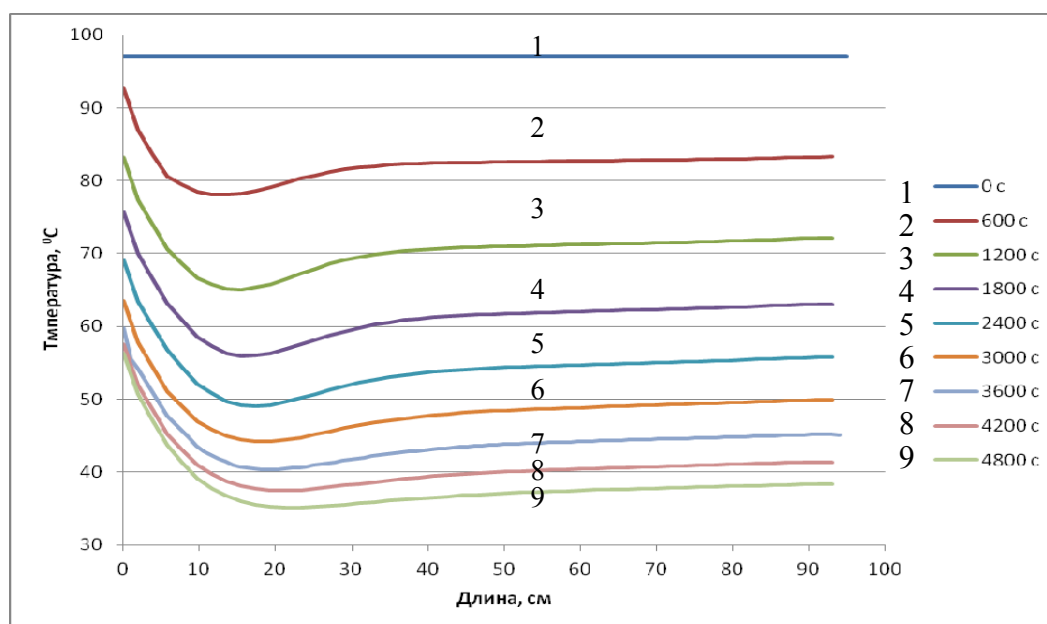


Рис. 1. Распределение температуры натрия по длине охлаждаемого участка через промежутки времени в 10 мин после начала расхолаживания при расходе сжатого воздуха 100 г/с

Как было указано выше, по правилам безопасности, температура натриевого трубопровода при вскрытии не должна превышать  $60^{\circ}\text{C}$ , но в разрабатываемых программах производства работ на натриевых системах для запаса принимается  $40^{\circ}\text{C}$ . Поэтому расчет проводился до достижения температуры в  $40^{\circ}\text{C}$ .

После достижения безопасной температуры, в целях эффективного использования сжатого воздуха его расход можно снизить. Расход, обеспечивающий поддержание достигнутого значения температуры ( $40^{\circ}\text{C}$ ) для данного варианта расчета, составляет 6 г/с. На рис. 2 показано изменение температурных полей по длине охлаждаемого участка трубопровода после уменьшения расхода сжатого воздуха.

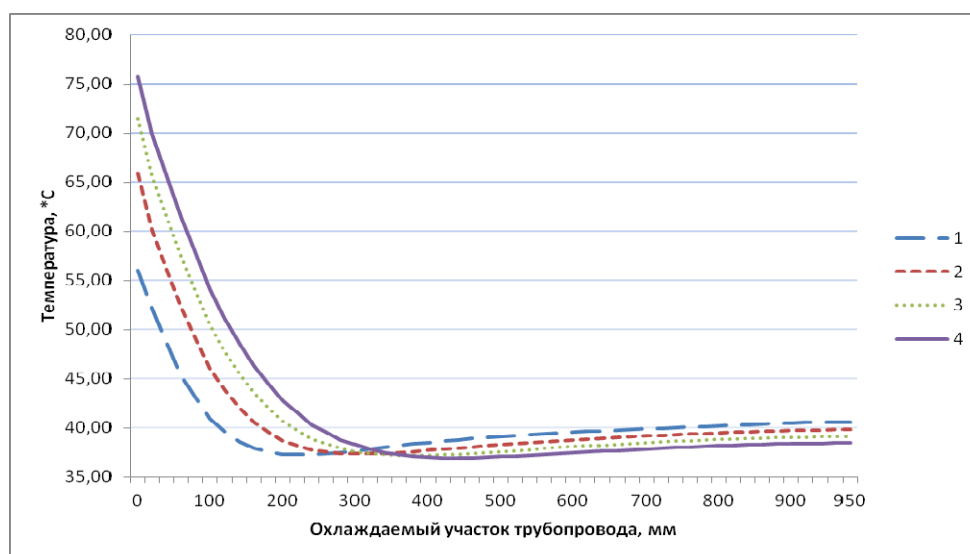


Рис. 2. Изменение температурных полей при снижении расхода воздуха

Представленное устройство для охлаждения натрия позволяет повысить безопасность проведения работ. При выявлении роста температуры натрия можно понизить её, увеличив расход сжатого воздуха.

На четвертом этапе было проведено сравнение процессов охлаждения натриевого трубопровода при разных расходах сжатого воздуха для определения оптимальных характеристик устройства для расхолаживания.

Исследование изменения температуры натрия при естественной конвекции показало, что скорость охлаждения очень мала. Это подтверждают и данные из практики проведения ремонтных работ.

Выводы:

1. Использование быстросъемного устройства для охлаждения натрия позволяет повысить эффективность расхолаживания натрия в трубопроводе, а в условиях радиоактивных натриевых систем снизить дозовые затраты персонала.

2. Компьютерное моделирование с использованием программного комплекса SolidWorks позволяет оптимизировать конструкционные параметры устройства для охлаждения натрия.

#### *Библиографический список*

1. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Булатов В.И., Шастин А.Г. О проблеме снижения дозовых затрат персонала АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2011. № 1. С. 55-60.
2. Правила охраны труда при эксплуатации тепломеханического оборудования и тепловых сетей атомных станций ФГУП Концерн «Росэнергоатом» СТО 1.1.1.02.001.0673-2006. М.: Концерн «Росэнергоатом», 2007. 198 с.

## **АНАЛИЗ РИСКОВ ПОВРЕЖДЕНИЯ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

*Халикова Е.Д., Давиденко И.В.  
УрФУ, katyushka777@yandex.ru*

В условиях современного рынка электроэнергии предприятия энергетики как в РФ, так и за рубежом, заинтересованы в активном использовании менеджмента рисков в общем менеджменте предприятия. Данная статья посвящена анализу рисков повреждения силовых масляных трансформаторов с целью обоснования (оценки) эффективности управляющих решений по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту силовых трансформаторов (СТ), а также по вопросу инвестиций, направленных на повышение надежности работы СТ.

Целью менеджмента рисков является нахождение баланса между рисками отказа оборудования и затратами на поддержание необходимого уровня его надежной работы. В общем виде, решение этой задачи представлено на рисунке.



Процедура оптимизации риска отказов ТС и затрат на обеспечение их надежной работы

В ходе анализа рисков, мы должны выявить, что может выйти из строя (идентификация опасности); с какой вероятностью это может произойти (анализ частоты) и каковы последствия этого события (анализ последствий) [1]. Величина риска определяется как произведение величины последствий нежелательного события (ущерба) на вероятность его наступления [2] по формуле:

$$r = \sum_{i=1}^N p_i * c_i , \quad (1)$$

где  $p_i$  – вероятность возникновения опасного события  $i$ -го класса;  $c_i$  – величина ущерба при  $i$ -ом событии.

Идентификация вида опасности и частота ее возникновения были выявлены авторами в результате статистического анализа повреждаемости СТ Уральского региона [3], где было рассмотрено 93 случая отказов. Результаты этого исследования, а также данные анализа баз данных повреждаемости СТ ZTZ-Сервис Украины (80 отказов) [4] и ФСК ЕЭС РФ [5] (649 отказов) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Статистика повреждаемости узлов СТ

Источники данных		ЗТЗ-сервис [4]		ФСК ЕЭС [5]		Авторы [3]		Среднее	
	Узлы СТ	Всего, шт.	%	Всего, шт.	%	Всего, шт.	%	Всего, шт.	%
1	Обмотки, их изоляция	32	40,00	115	17,72	56	60,22	203	39,31
2	Вводы	25	31,25	158	24,35	11	11,83	194	22,47
3	ПУ	19	23,75	97	14,95	17	18,28	133	18,99
4	Магнитопровод	0	0,00	3	0,46	3	3,23	292	1,23
5	Бак, охладители	4	5,00	276	42,53	6	6,45	286	17,99
	Сумма	80	100	649	100	93	100	1108	100

Принимая во внимание, что разница в результатах анализа повреждаемости ТС по п.п.1 и 5 таблицы с данными ФСК ЕЭС могла быть вызвана рядом причин (разными объемами выборки и правилами классификации повреждений, искажением информации при предоставлении «наверх» и т.д.), было принято решение рассчитать среднее арифметическое значение повреждаемости узлов СТ.

Далее было необходимо рассчитать вероятность возникновения выявленных видов опасности. Известно, что, в среднем поток повреждаемости СТ равен 1,5 %. Однако он меняется в зависимости от срока эксплуатации оборудования. Как показали исследования авторов [3, 6], кривая повреждаемости имеет несколько характерных участков, это периоды: приработки, минимальной повреждаемости (3-15 лет), возрастания повреждаемости (15-27 лет), активного старения (с 37-39 лет). В работе [6] были определены потоки повреждаемости СТ для каждого из этих периодов, что позволило с учетом данных табл. 1 рассчитать вероятность повреждения узлов СТ с учетом сроков их эксплуатации (табл. 2).

Таблица 2

Вероятность повреждения узлов с учетом срока эксплуатации					
Срок эксплуатации	до 3 лет	3-15 лет	15-27лет	27-37 лет	свыше 37
Вероятность повреждения, %					
СТ	3,46	0,8	3,2	1,6	4,46
Обмотки, их изоляция	1,36	0,31	1,26	0,25	0,09
Вводы	0,78	0,18	0,72	0,14	0,05
ПУ	0,66	0,15	0,61	0,12	0,04
Магнитопровод	0,04	0,01	0,04	0,01	0,00
Бак, охладители	0,62	0,14	0,58	0,11	0,04

Далее, было необходимо провести оценку ущерба при наступлении каждого из видов опасности. Для этого была проведена идентификация видов ущерба, представленных ниже:

1) собственный ущерб предприятия энергетики, включает расходы на расследование повреждения, ремонт/замену СТ и его узлов, ремонт/замену соседнего оборудования, пострадавшего в ходе аварии, убытки от недоотпуска/недовыработки энергии; падение репутации;

2) ущерб потребителей, включает стоимость недовыработки продукции/услуг, штрафы за поставку некачественной электроэнергии, ущерб от нарушения технологического цикла, ущерб имуществу, нанесенный взрывами/пожарами, вред здоровью (снижение безопасности людей);

3) экологические и социальные последствия.

Для большинства потребителей надежность сети является приоритетом, в связи с масштабностью ущерба в случае аварии, поэтому при оценке ущерба принято решение учитывать категорию потребителей весовыми коэффициентами. После идентификации видов ущерба логично перейти к их оценке, однако здесь возникают сложности, т. к. экономический ущерб компаниями не афишируется. Исследования данного вопроса будет продолжаться.

С одной стороны, оценки рисков, требующие для анализа полный объем достоверной информации о повреждаемости СТ и ущербах потребителей и производителей электроэнергии, необходимы предприятиям, с другой стороны, эти исследования невозможны на собственных данных предприятия, так как отказы оборудования довольно редкое явление. Следовательно, в условиях полной конфиденциальности информации об авариях, ущербах и ее искажения в

корпоративных интересах ни одно предприятие не сможет провести качественную оценку рисков. Только достоверная информация и ее качественная оценка позволят найти верный баланс между затратами на оборудование и рисками его отказа для оптимизации затрат на техническое обслуживание и ремонты СТ, повышения рентабельности предприятия и обеспечения нормативной надежности работы СТ.

#### *Библиографический список*

1. ГОСТ Р 51901.4-2005 Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании. Дата введения 2006-02-01.
2. ГОСТ 27.310-95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения (МЭК 60812:1985 «Методы анализа надежности систем. Метод анализа вида и последствий отказов (FMEA)», NEQ). Дата введения 1997-01-01.
3. Статистический анализ повреждаемости трансформаторов 35-220 кВ Уральского региона / И.В. Давиденко, В.И. Комаров, К.В. Овчинников, Е.Д. Халикова // Энергетика и электротехника: Проблемы и достижения в промышленной энергетике. Материалы 11-ой Междунар. науч.-практ. конф. 13-15 ноября 2012. Екатеринбург.
4. <http://www.ztz-service.com.ua/>
5. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110-500 кВ в эксплуатации. Б.В. Ванин, Ю.Н. Львов, М.Ю. Львов // Электрические станции. 2001. № 9. С. 53-58.
6. Давиденко И.В. Разработка системы многоаспектной оценки технического состояния и обслуживания высоковольтного маслонаполненного электрооборудования. Дис... Новосибирск. 2009. С. 407.

## **ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНЫХ СВОЙСТВ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ИСКОПАЕМЫХ ТОПЛИВ**

*Хейло Д.В., Хайруллин И.А., Картавцев С.В.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова  
kartavzw@mail.ru*

Практически все виды ископаемых топлив транспортируются трубопроводным, железнодорожным и водным видами транспорта к потребителям, что приводит к существенному воздействию на окружающую среду в виде эксплуатационных и аварийных загрязнений окружающей среды. Вследствие этого все виды транспорта природных энергоносителей должны быть обоснованы для минимизации экологических загрязнений.

В работе ставится задача оценки *энергоэкологического* воздействия использования ископаемых топлив на окружающую среду на основе только присущих им (имманентных) физических характеристик.

Для подобного анализа в окружающей среде существенным является наличие трех фаз агрегатного состояния: газообразная атмосфера, жидкая гидросфера и твердь континентов. Особо следует отметить фазовую поверхность раздела атмосферы и гидросферы, поскольку через нее идет поток кислорода для всей биомассы океана.

*Угли.* Плотность углей выше плотности воды и тем более – воздуха, поэтому при эксплуатационном или аварийном просыпе угли занимают низшую



точку на грунте, на суше или в воде. В этом случае экологическое загрязнение относительно невелико.

При транспортировке угля нет никаких ограничений на условия и способ перевозки. При взаимодействии угля с воздухом не происходит никаких изменений (будь то форма или свойства). Попадая на грунт, уголь остается на поверхности, не разлагаясь и не деформируясь. В воде уголь тонет, так как по плотности тяжелее её, также не растворяясь. Изменений не происходит.

Золошлаковые отходы (ЗШО) угольных электростанций накоплены в огромном количестве – 1,5 млрд т. Золоотвалы многих угольных ТЭС переполнены, а дополнительный землеотвод невозможен и проблематичен. Ежегодно утилизируется и используется не более 8 % (2,1 млн т) образующихся на ТЭС ЗШО. Если такое положение сохранится, то к 2020 г. некоторые угольные ТЭС России придется остановить и вывести из энергобаланса [1].

В таких странах, как Германия, Дания производство стройматериалов используется до 100 % годового выхода ЗШО, в США, Великобритании, Польше, Китае – 50...70 %. В Германии вообще запрещены золошлакоотвалы [1].

В составе углей содержится в среднем около 20 % несгораемого зольного остатка в виде  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . То есть, при извлечении угля неизбежно извлекается из земли масса негорючих минералов.

Во время сжигания углей после завершения горения эта минеральная масса приобретает температуру 1800...2000 °С. В этот момент несгораемая минеральная часть углей в высшей степени готова к переработке. Известно, что переработка этих веществ может вестись в направлении получения цемента и что цемент идет на изготовление бетона и железобетонных изделий. Бетон можно использовать как при строительстве зданий (вверх), так и при строительстве дорог (в длину).

Таким образом, непрерывное сжигание углей порождает высокотемпературный поток минеральной массы, которую принципиально возможно непрерывно перерабатывать на цемент и впоследствии – на бетон, который является, в частности, основой строительства высококачественных бетонных автодорог.

Расчетные оценки показывают, что крупная ГРЭС мощностью 2,5 ГВт при работе на угле с теплотой сгорания 25 МДж/кг и зольностью 20 %, сжигает 100 кг/с угля и порождает поток минеральной массы 20 кг/с. Это создает предпосылки для непрерывного производства 50 кг цемента, из которого можно изготовить до 0,2 м<sup>3</sup>/с бетона. Если этот бетон непрерывно укладывать в дорожное полотно толщиной 0,25 м и шириной 4 м, то скорость удлинения полотна составит 0,2 м/с. Ежечасное удлинение бетонной полосы может теоретически, при непрерывном процессе, составить 1800 м в расчете на одну полосу шириной 4 м, или 300 м в расчете на 6 полос.

Таким образом, использование энергии углей открывает иную транспортную возможность – строительства наиболее качественных и долговечных дорог, а также бетонных и железобетонных конструкций, в том числе бетонных шпал для железных дорог.

Строительство дорог для России имеет исключительное значение, по-видимому, наибольшее среди всех стран мира, в соответствии с первым местом в мире по площади и протяженности.

*Природные газы.* Плотность природных газов – около  $0,75 \text{ кг/м}^3$ , поэтому они не задерживаются ни в воде, ни в атмосфере, поднимаясь в верхние слои и подвергаясь деструкции там. Ни одна из фазовых поверхностей: грунт-вода, вода-воздух, грунт-воздух не способны удержать природные газы от рассеивания в атмосфере. Поэтому при эксплуатационных или аварийных выбросах природных газов существенного загрязнения окружающей среды не происходит, если не относить углеводороды к парниковым газам.

Это свойство низкой плотности позволяет без существенных ограничений транспортировать природные газы (в том числе – сжиженные фракции) по суше и по воде на неопределенно большие расстояния без опасности значительного загрязнения окружающей среды.

Таким образом, природные газы – наиболее транспортная форма наиболее концентрированной энергии природных углеводородов с наименьшим ущербом для окружающей среды. То же касается и сжиженных фракций углеводородов.

Транспорт природных газов может экологически безопасно вестись как в пределах континентов, так и при пересечении любых водных пространств.

*Нефть.* До 90 % загрязнений окружающей среды нефтепродуктами происходит при ее транспортировке. Сбросы нефти в воду быстро покрывают большие площади, при этом толщина загрязнения также бывает разной. Холодная погода и вода замедляют растекание. Движение нефтяного разлива зависит от ветра, течения и приливов [2]. Время нахождения нефти в воде обычно составляет до 6 месяцев. Период сохранения нефти в прибрежной окружающей среде варьируется от нескольких дней на скалах до более, чем 10 лет в укрытых и сырых участках [3].

Через 10 минут после того, как в воде оказалась 1 тонна нефти, образуется нефтяное пятно, толщина которого составляет 10 мм. С течением времени толщина пленки уменьшается (до менее 1 мм), в то время как пятно расширяется. 1 тонна нефти способна покрыть площадь до 12 кв. км [4].

Отталкиваясь от физико-химических свойств нефти, видно, что нефть и вода несовместимы. Если произойдет такая утечка нефти на почве, то природе ущерб будет нанесен куда меньше, чем на воде. Необходимо ограничить транспортировку нефти границами материков [5].

*Выводы.* Анализ только физико-химических свойств природных углеводородов позволяет сделать следующие заключения.

Ископаемые угли могут практически без экологических ограничений транспортироваться как по суше, так и по воде, но они имеют скрытую собственную транспортную составляющую в виде принципиальной возможности строительства высококачественных автомобильных и железных дорог, что имеет исключительное значение для Российской Федерации.

Природные газы являются в высшей степени безопасной транспортной формой энергии и могут транспортироваться без существенных экологических ограничений как по суше, так и по воде.

Нефть может относительно безопасно транспортироваться с экологической точки зрения в пределах суши (континентов). Транспорт нефти по морям и океанам представляет существенную угрозу глобальной экологической ситуации, особенно вблизи или при пересечении океанских течений.

*Библиографический список*

1. Кожуховский И.С. Перспективы развития угольной энергетики России до 2030 г. // Электрические станции. 2012. № 8. С. 2-8.
2. Габриэлянц Г. А. Геология нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 2003. 285 с.
3. Радзевич Н.Н., Пашканг К.В. Охрана и преобразование природы. М.: Просвещение, 2001. С. 83.
4. Питерс А. Разливы нефти и окружающая среда // Экология. 2006. № 4. С. 11.
5. Медведев Д.Б., Картавцев С.В. Имманентная оценка нефти как первичного энергоресурса // Энергетики и металлурги – настоящему и будущему России. Магнитогорск: МГТУ, 2010. С. 162-165.

**СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ КОМПЕНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СВЕРХУДАЛЕННЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК  
С СУЩЕСТВЕННОЙ ВЕЛИЧИНОЙ ПРОЧЕЙ НАГРУЗКИ**

*Хохлов Ю.И., Лонзингер П.В.  
Южно-Уральский государственный университет  
URAH\_44@mail.ru, lpw91@mail.ru*

Нефте- и газодобывающая отрасли являются важнейшими для экономики России. Особенностью технологического процесса предприятий нефтегазодобывающего комплекса является необходимость освоения месторождений в труднодоступных местах, удаленных от баз обслуживания на многие километры. Это накладывает определенные требования к системам электроснабжения (СЭС) буровых установок (БУ). Специалисты предприятий нефтегазодобывающего комплекса предъявляют следующие требования к СЭС БУ: снижение потерь электрической энергии, обеспечение требуемого уровня и качества напряжения на входе работающей БУ, ограничение напряжения на входе БУ в режиме ее холостого хода.

В [1] рассмотрена система электроснабжения на основе частотно-регулируемого электрического привода переменного тока. В упомянутой СЭС на асинхронные двигатели БУ переменное напряжение регулируемой частоты подается от индивидуальных автономных инверторов и общего двенадцатифазного неуправляемого выпрямительного агрегата. Выпрямительный агрегат получает питание от подстанции 35/6 кВ по воздушной ЛЭП значительной протяженности. Питание БУ по таким ЛЭП приводит к значительному снижению напряжения на удаленных БУ. Кроме того, это приводит к переходу двенадцатифазного некомпенсированного выпрямительного агрегата в глубокий режим, что сопровождается значительным потреблением реактивной мощности, повышению несинусоидальности напряжения на БУ, снижению величины и качества напряжения на автономных инверторах. В результате увеличиваются потери электроэнергии, а на удаленных БУ снижение уровня и качества напряжения

значительно превышает допустимые по ГОСТ 13109-97. Все перечисленное может привести к невозможности бурения на удаленных БУ.

В [2, 3] показано, что вышеперечисленные проблемы могут быть эффективно решены с помощью использования в качестве выпрямительного агрегата двенадцатифазного симметричного компенсированного выпрямителя (СКВ). При этом предлагается работа компенсирующего устройства на повышенной частоте. Для дополнительного снижения несинусоидальности напряжения в конце ЛЭП устанавливается фильтр 11 гармоник минимальной установленной мощности. Данных технических решений достаточно при длине ВЛ до 3-5 км.

При большей длине ЛЭП необходимо принимать дополнительные меры по поддержанию уровня напряжения в конце ВЛ на допустимом уровне. В предлагаемой СЭС это осуществляется с помощью трехфазного трансформаторного компенсирующего устройства. Представленные в [2] результаты моделирования СЭС с перечисленными выше техническими решениями показывают, что при длине ВЛ 12 км требования по компенсации реактивной мощности, а также к напряжению на АИ и напряжению на шинах подстанции 35/6 кВ, удовлетворяются.

Однако реальная практика бурения сталкивается с необходимостью работы БУ при еще больших длинах ЛЭП и при значительной величине прочей нагрузки, подключенной в конце ВЛ. В результате удовлетворить все перечисленные выше требования с помощью вышеназванных технических решений не удастся. В этом случае может быть использована СЭС, представленная на рис. 1.

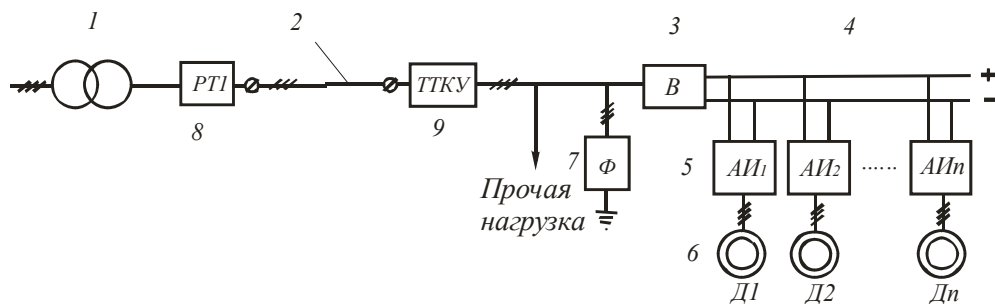


Рис. 1. Принципиальная однолинейная схема компенсированной СЭС, предназначенной для электроснабжения сверхудаленных БУ: 1 – понижающая подстанция 35/6 кВ; 2 – воздушная ЛЭП 6 кВ; 3 – двенадцатифазный диодный выпрямитель; 4 – распределительное устройство постоянного тока; 5 – автономные инверторы напряжения, 6 – асинхронные двигатели механизмов буровой установки; 7 – фильтр 11-й гармоники; 8 – регулировочный трансформатор повышающий; 9 – трехфазное трансформаторное корректирующее устройство (ТТКУ)

В отличие от описанной в [2], в данной СЭС осуществляется снижение тока, протекающего по ЛЭП, за счет включения в начале ВЛ повышающего трансформатора. Компенсация реактивной мощности, обеспечение номинального напряжения на БУ, а также ограничение напряжения в режиме ХХ осуществляется за счет подключения на выходе ВЛ ТТКУ, совмещающего в себе регулировочный понижающий трансформатор и компенсирующее устройство, работающее на частоте питающей сети, что приводит к увеличению его установленной мощности по сравнению с компенсирующим устройством, работающим на частоте 250, 350 Гц.

Ограничение по компенсации реактивной мощности СКВ с компенсирующим устройством, работающим на частоте 250, 350 Гц, связано с появлением режима повторной проводимости клапанов.

Представленные на рис. 2 результаты моделирования описанной СЭС в среде MATLAB подтверждают удовлетворение ею вышеперечисленным требованиям. На рис. 2 временные диаграммы токов изображены жирными линиями, напряжений – тонкими.

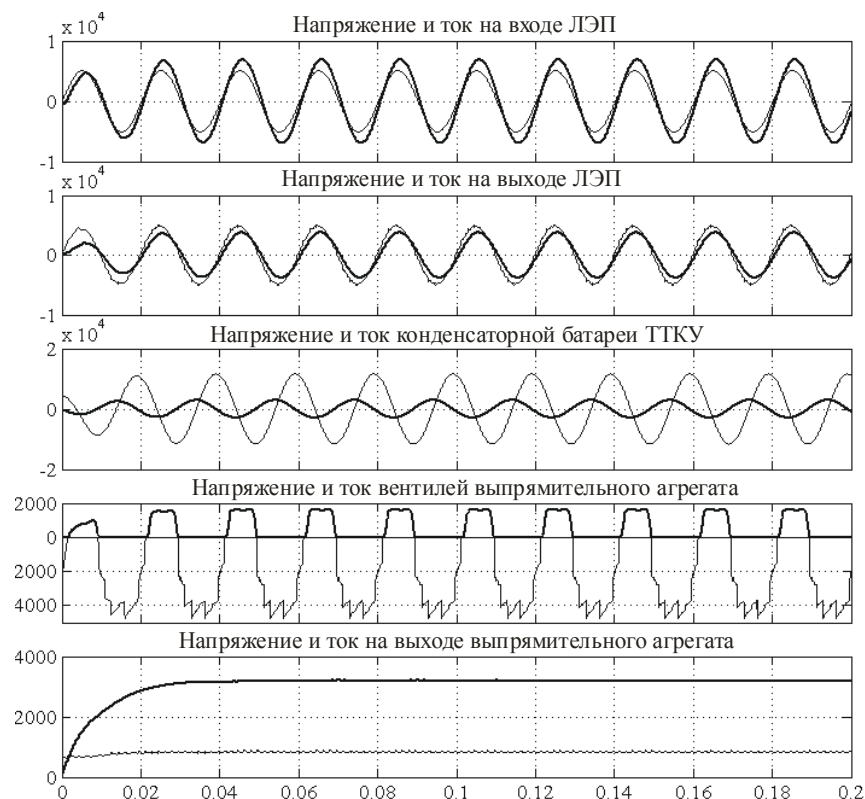


Рис. 2. Результаты моделирования

Дальнейшим усовершенствованием предлагаемой СЭС может быть обеспечение плавности регулирования напряжения в начале и в конце ЛЭП, например, за счет применения преобразователей напряжения на полностью управляемых полупроводниковых ключах.

#### *Библиографический список*

1. Чупин С.А. Современные системы управления механизмами буровых установок российского производства // Энергетика Тюменского региона. 2008. № 1. С. 61–64.
2. Федорова М.Ю., Хохлов Ю.И., Хлопова А.В. Повышение энергоэффективности и разработка дизайна систем электроснабжения удаленных буровых установок нефтегазодобывающего комплекса // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Энергетика. 2012. Вып. 17. № 16. С. 42–46.
3. Патент 2400917 (Российская Федерация). Компенсированная система электроснабжения разночастотных потребителей электрической энергии / Ю.И. Хохлов, М.Ю. Федорова, С.А. Чупин // Бюл. изобр. 2010. № 27.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЖИГАНИЯ НИЗКОСОРТНЫХ ТОПЛИВ

*Худякова Г.И., Рыжков А.Ф.  
УрФУ, uge87@mail.ru*

Основной сегмент применения низкосортных топлив (НТ) – установки региональной, промышленной и коммунальной энергетики, которые работают по технологиям низкотемпературного сжигания, при котором гетерогенный переход органической части топлива из твердого состояния в газообразное протекает в низкотемпературном режиме с сохранением минеральной части в твердом виде. Экспериментальные данные по низкотемпературному горению топливных частиц (ТЧ) могут быть использованы для анализа термохимической подготовки топлив в топках с плотным и кипящим слоем, газогенераторах и предтопках с предварительной термоподготовкой топлива.

Рассмотрены особенности воспламенения и выгорания ТЧ для выявления и исследования кинетики термохимической конверсии. В экспериментах исследовался ряд топлив естественного происхождения (Волчанский бурый уголь – ВБУ, торф, биомасса), продукты термообработки (коксы слоевого коксования, древесный уголь) и ряд композитных ТЧ (влажные гранулы на основе угольной, торфяной и древесной пыли) и прессования (древесные пеллеты) с различающимися значениями плотности, влажности и зольности (таблица). По зольности топлива делятся на: высокозольные (ВБУ, гранулы из пыли ВБУ), среднезольные (коксы 2 и 3, гранулы из торфяной пыли) и малозольные высокорекреационные (кокс 1, древесина, древесный уголь (ГОСТ 7657-84), косточка, гранулы из древесной пыли, пеллеты), в условиях воздушного процесса. Исследовались топлива 1-8, а 9-11 были исследованы ранее [1].

Выбор ВБУ обусловлен близостью его свойств с углями Северососьвинского угленосного района, рассматриваемыми в качестве основного энергетического ресурса для перспективного развития Полярного и Приполярного Урала, по данным УралВТИ. Образцы коксов (по таблице – № 2-4) получены от ООО «Проминтех НКА»: «кокс 1» – кокс из нефтяной коксующей добавки (ДК), «кокс 2» – производственный кокс Губахинского коксохимзавода с добавкой к угольной шихте 50 % ДК и «кокс 3» – производственный кокс Кемеровского коксохимзавода из 100 % кузнецких углей. Образцы получены путем совместного или индивидуального пиролиза угольной шихты и ДК и последующего дробления до фракции 19-22,4 мм. Исследования проводились при температуре 800-900 °С – оптимальной для связывания серы.

Топливные гранулы (по таблице – № 5-7) с эквивалентным размером 15 мм, получаемые прессованием из суспензии на основе угольной, торфяной и древесной пыли, находящейся на пределе текучести, и помещаемые после формовки в разогретый муфель, позволяют определить влияние горючего наполнителя на динамику выгорания. Характерной особенностью является сохранение формы гранулы в течение всего времени выгорания. Пластичность контактов между отдельными зернами в грануле снимает накапливающиеся при термической усадке разрушающие напряжения. В то же время прочности создаваемых

при усадке и последующем обжиге межчастичных контактов оказывается достаточно, чтобы минеральный каркас сохранял свою форму в течение всего процесса озоления.

#### Характеристики исследуемых топлив

№	Топливо	$W_t^r$ , %	$A^d$ , %	$V^{daf}$ , %	$Q_i^r$ , Дж/кг	$\rho^r$ , кг/м <sup>3</sup> *
1	ВБУ	20	40,5	31,9	10,63	1450
2	Кокс 1	3	1	1	32,7	820
3	Кокс 2	0,6	6,5	1	32,3	874
4	Кокс 3	0,4	12	1	31,8	834
5	Гранула из пыли ВБУ	30	46	27	10,63	1154
6	Гранула из древесной шлифпыли	65	1	85	12,6	987
7	Гранула из торфяной пыли	70	9	70	16,5	870
8	Древесина разных пород	8-12	1	85-88	10,2-18,1	450-690
9	Древесный уголь	1,4	0,9	15	31,5	380
10	Косточка	4	0,97	85	18,9	1150
11	Пеллета	10	2	87	17,5	1200

Примечание: \* Кажущаяся плотность при рабочей влажности

В опытах по определению динамики выгорания ТЧ образец диаметром более 10 мм размещался (центрировался) на корольке термопары (тип ХА, диаметр королька – 1 мм) и вносился в предварительно нагретый до заданной температуры (400-1200 °С) муфель. Измерялись температуры печи, поверхности и центра образца за время процесса ( $\tau$ ). Эксперименты проводились при нормальных условиях с закрытым непродуваемым муфелем, принимали скорость потока воздуха  $w = 0$  м/с. Средняя эффективная скорость горения коксозольного остатка (КЗО) определялась как убыль расчетной массы КЗО с единицы поверхности эквивалентной сферы (по начальному размеру) за время выгорания КЗО (кг/м<sup>2</sup>с):  $j = \Delta M / (\Delta t_{\text{КЗО}} \cdot F)$ .

При обработке ставилась задача нахождения средней скорости конверсии за полное время выгорания, а основной упор в экспериментах делался на «ранжирование» исследуемых топлив по определяемым параметрам при одинаковом уровне систематических погрешностей. В качестве оценочных рассматривались кинетический и диффузионный режимы горения, температурная граница между ними зависит от интенсивности массообмена и для наиболее реакционных топлив в малоподвижной среде составляет 500 °С.

В низкотемпературном диапазоне ( $T_m = 250\text{--}500$  °С) разогрев влажных гранул происходит с запаздыванием из-за процесса сушки, наименьшее запаздывание – у гранулы с минимальной начальной влажностью (уголь). В высокотемпературном диапазоне (при температуре муфеля 800 °С) специфика прогрева и воспламенения различных топлив нивелируется. «Запаздывание» прогрева ТЧ относительно древесного угля уменьшается, а перегревы к концу саморазогрева и скорости горения КЗО сближаются.

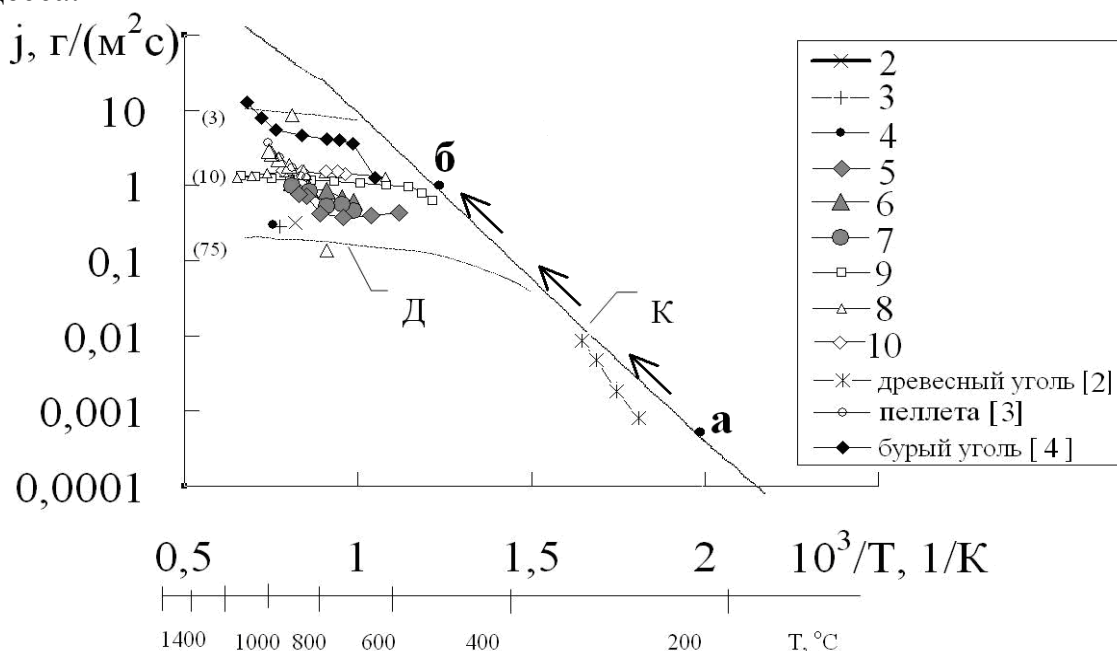
В низкотемпературном диапазоне низкорреакционные топлива в процессе выгорания КЗО ведут себя подобно химически инертным телам ( $\Delta T = 0$ ). После

разогрева до 700 °С в них развивается беспламенное горение с перегревом, проявляющееся в виде свечения. При этом горение КЗО высокорекреакционных топлив не зависит от влажности и начинается после выхода основной массы летучих, при температуре  $T_{\text{ч}} \approx 300\text{--}400$  °С, а древесного угля с малым содержанием летучих при более низкой температуре  $T_{\text{ч}} \approx 250$  °С.

Скорость горения коксов ( $\sim 0,2\text{--}0,3$  г/м<sup>2</sup>с) в 2-5 раз меньше, чем высокорекреакционных топлив. По этому показателю коксы занимают последнее место в ряду «древесина – шлифпыль – торф – бурый уголь – коксы». Внутри подгруппы максимальную реакционную способность проявил кокс 3, выгорающий с наибольшим перегревом и скоростью; кокс 1, как наименее реакционноспособный, показал минимальные скорость горения и перегрев.

Динамический процесс саморазогрева КЗО в низкотемпературном диапазоне представляет известный из теории теплового взрыва Н.Н. Семенова переходный процесс, разворачивающийся во времени вдоль кинетической кривой (рисунок) от начального значения (точка «а») до «излома» в точке «б». Происходящий при этом эволюционный «скачок», условно отраженный стрелками между точками «а» и «б», символизирует переход из кинетической области горения в начале саморазогрева к диффузионной – в конце.

Для высокорекреакционных топлив «излом» по расчету приходится на область температур  $\sim 500$  °С. Такую температуру может приобрести частица, забрасываемая в топку, разогретую до температуры  $\sim 250\text{--}300$  °С. По сравнению с низкорекреакционными топливами устойчивый кинетический режим горения в обычных условиях не реализуется, а диффузионный переход наступает при низкой температуре реагирования. Это является физической основой для разработки технологий низкотемпературного сжигания/газификации, но одновременно создает методологические трудности при определении кинетических констант процесса.



Зависимость скорости горения частицы  $j$ , г/(м<sup>2</sup>с), от обратной ( $1000 / T_{\text{ч}}$ , 1000 / К) и обычной ( $t_{\text{ч}}$ , °С) температуры частицы, цифры в скобках – диаметр частиц,  $d_{\text{ч}}$ , мм, обозначения – по таблице ([2] – древесный уголь Хайкина С.Э.)



В результате экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы. В режимах низкотемпературного сжигания НТ воспламенение и выгорание в значительной мере определяются как природой и «предысторией» ТЧ, так и спецификой протекающих при их помещении в топку процессов. Масштабное исследование особенностей выгорания НТ различного происхождения показало, что наиболее подходящими для низкотемпературных технологий являются топлива, имеющие низкую температуру воспламенения и высокую удельную скорость горения. Из ископаемых топлив такими оказались волчанские бурые угли. По сравнению с угольными, более влажные гранулы торфа и древесины существенно проигрывают по теплоплотности, что приводит при прочих равных условиях к соответствующему снижению поверхностной скорости выгорания, тогда как количество испаряемой воды находится на пределе положительного теплового баланса. При положительном тепловом балансе снижение эффективности сжигания оправдывается назначением сжигания мокрого гранулированного топлива – огневой утилизацией горючих отходов, а подтвержденный промышленными испытаниями практический эффект свидетельствует о целесообразности применения данного способа в специальных условиях. Представленные образцы коксов слоевого коксования после дробления могут найти применение в слоевых технологиях сжигания: при небольших концентрациях нефтекокса – в установках с плотным слоем, а при необходимости сероподавления – в установках с кипящим слоем.

#### *Библиографический список*

1. Силин В.Е., Рыжков А.Ф., Богатова Т.Ф., Надир С.М. Изучение выгорания одиночной частицы биотоплива // Горение твердого топлива: сб. докладов VII Всерос. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 10-13 ноября 2009 г. Новосибирск: Изд-во Института теплофизики СО РАН, 2009. Ч. 2. С. 134–143.
2. Хитрин Л. И. Физика горения и взрыва. М.: Изд. АН СССР, 1955. 442 с.
3. Palchonok G., Leckner B., Tullin C., Martinsson L., Borodulya A. Combustion characteristics of wood pellets // PELLETS 2002: Proc. 1st World Pellets Conf. Sept. 2-6, 2002. Stockholm. 2002. P. 105-109.
4. Павлюк Е. Ю., Мунц В. А. Моделирование растопки котлов с кипящим слоем // Вестник УГТУ-УПИ: Теплоэнергетика. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. № 3 (33). С. 56–61.

## **ИНТЕРАКТИВНОЕ ИЗУЧЕНИЕ «ОСНОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ»**

*Худякова Г.И.*

*УрФУ, uge87@mail.ru*

Проблема подготовки кадров в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности на данный момент стоит достаточно остро, активная работа по подготовке специалистов в данной области началась после принятия первого Федерального закона «Об энергосбережении» от 03.04.1996 г. № 28-ФЗ, значительно усилилась с появлением нового ФЗ № 261 [1] в соответствии со следующими положениями этого закона:

- образовательные программы могут включать в себя учебные курсы по основам энергосбережения и повышения энергетической эффективности (пункт 4 статьи 22);

• государственная поддержка в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности может осуществляться по направлениям содействия в осуществлении образовательной деятельности в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности (пункт 1 статьи 27).

Следовательно, изучение вопросов энергосбережения является важным этапом в подготовке специалистов для разных областей промышленности. Обучение в профессиональной среде проводится на всех уровнях – от руководителей компаний, специалистов до простых рабочих. Большое количество студентов обучают по всей стране основам энергосбережения и рационального использования ресурсов, в том числе такое обучение проводится кафедрой «Энергосбережение» в Уральском федеральном университете.

Самым важным в получении качественных знаний в любой сфере является знакомство с основными базовыми понятиями, в частности в науке на первом месте стоят термины и определения, чтобы специалисты могли «говорить на одном языке».

Часто студенты не знают основных терминов в области энергосбережения, и им приходится сначала в них разбираться, осваивать, ведь только потом можно двигаться дальше в глубину проблем повышения энергоэффективности.

Освоение терминов – не очень интересный студенту процесс заучивания, порой без понимания, которое приходит лишь позже, когда термины начинают использовать на практике или в работе. Для того чтобы изучение основных понятий стало интересным для студентов, предлагается использовать популярные сейчас игры для общения и развития, например, игра «Активити» фирмы Piatnik [2].

«Активити» — это игра для общения. Она основана на обмене идеями между игроками. В игре используются все обычные формы общения: мимика, вербальные и графические описания. Игра становится труднее по мере своего развития, и кто будет победителем, может определиться только в последний момент. В игре могут участвовать 2, 3 или 4 команды с минимальным количеством участников 2 игрока в одной команде.

В чём состоит игровой процесс? Основная задача – объяснять слова, записанные на карточках заданий. Каждое из них можно объяснять одним из заданных способов: пантомимой, через синонимы или рисунком. На то, чтобы передать смысл слова, у вас есть всего одна минута – и от сообразительности игрока, а также от того, насколько понимает игрока его команда, зависит успешность игры. Объяснять нужно словами или ассоциациями, жестами или рисунками. В первом случае вам нужно просто рассказать, что за слово: например, слово «университет» – это высшее учебное заведение, где готовятся специалисты по фундаментальным и многим прикладным наукам. Если попалось объяснение жестами, будет сложнее – придётся без слов показывать, что это такое. На каждое слово есть ровно одна минута, которая отмеряется песочными часами.

Превращая известную игру в интерактивное изучение «Основ энергосбережения», следует немного изменить условия игры: обычные слова заменить специальными терминами, связанными с изучаемой дисциплиной, например,

прибор учета, теплоизоляция, энергия, энергоэффективность, возобновляемые источники энергии, вторичные энергоресурсы и другие. Можно поделить на команды и действовать, как описано выше, или предоставить студенту возможность «объяснять» термин перед всей группой, чтобы распознавать термин могли все одноклассники. Таким образом, процесс изучения становится интересным студентам и заставляет их разбираться в понятиях, «пропуская их через себя», что позволяет им свободно оперировать понятиями в дальнейшем.

Применение интерактивных способов обучения возможно для множества дисциплин, не только в университете, но и в других учебных заведениях, например в школах.

#### *Библиографический список*

1. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. History of the Piatnik [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://piatnikcardgames.co.uk/content/uk/en/unternehmen/geschichte.php>.

### **ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА КИРПИЧА ЗАО «НОРСКИЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ ЗАВОД»**

*Цветкова М.С., Никитин А.С., Лопатина М.В., Гнездов Е.Н.  
Ивановский государственный энергетический университет  
E-mail: tevp@tvp.ispu.ru*

На ЗАО «Норский керамический завод» (г. Ярославль) были выполнены работы по обследованию туннельной печи линии «В». Целью теплотехнологического обследования печи было измерение основных параметров ее работы и составление теплового баланса.

Для данной печи уравнение тепловой баланса имеет вид:

$$Q_{\text{тл}} + Q_{\text{оп}} + Q_{\text{ф}} + Q'_{\text{к}} + Q'_{\text{в}} + Q_{\text{вз}} = \\ = Q''_{\text{к}} + Q_{\text{изв}} + Q_{\text{исп}} + Q''_{\text{в}} + Q_{\text{пов}} + Q_{\text{ух}} + Q_{\text{вг}} + Q_{\text{неучт}}, \text{ [кВт]},$$

где: приходные статьи:  $Q_{\text{тл}}$ ,  $Q_{\text{оп}}$ ,  $Q_{\text{ф}}$ ,  $Q'_{\text{к}}$ ,  $Q'_{\text{в}}$ ,  $Q_{\text{вз}}$  – соответственно теплота горения топлива и горения опилок, тепло топлива физическое, тепло загружаемых изделий, тепло, вносимое вагонетками и тепло воздуха, идущего на горение;

расходные статьи:  $Q''_{\text{к}}$ ,  $Q_{\text{изв}}$ ,  $Q_{\text{исп}}$ ,  $Q''_{\text{в}}$ ,  $Q_{\text{пов}}$ ,  $Q_{\text{ух}}$ ,  $Q_{\text{вг}}$ ,  $Q_{\text{неучт}}$  – соответственно потери тепла с керамическими изделиями, расход тепла на разложение известняка, расход тепла на испарение и нагрев влаги, потери тепла с выходящими вагонетками, потери тепла наружными поверхностями печи, потери тепла с уходящими газами, выход тепла с горячим воздухом, направляемым на сушку.

На рис. 1 дана схема Санкея теплового баланса печи линии «В», где для сравнения в скобках приведены числа по печи линии «С». По рисунку видно, что в приходной части 90,0 % (80,5 %) тепла получается при горении природного газа. В расходных статьях теплового баланса расход тепла с горячим воздухом 9,9 % (25,8 %), потери тепла с уходящими газами 37,5 % (34,6 %), теплопотери через кладку печи 17,1 % (19,2).

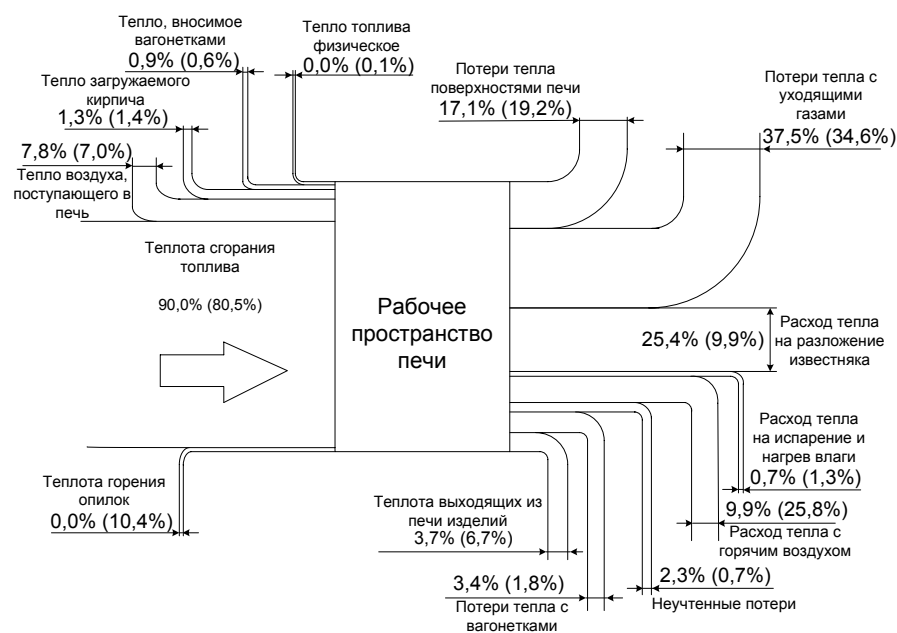


Рис. 1. Схема Санкея теплового баланса печи линии «В» («С»)

Проведенные теплотехнологические обследования туннельной печи имели ряд особенностей.

Первая особенность – это детальное измерение теплотерь в окружающую среду наружной поверхностью кладки печи. Для этого кладку печи разбивали на 14 участков. Было выделено по 3 участка на боковых поверхностях печи, на своде и на нижней поверхности, находящихся в печи вагонеток. Отдельными участками являлись поверхности тамбуров на входе и выходе печи. По результатам расчетов и измерений наибольшие потери тепла происходили через свод печи и через под печи в зонах обжига и охлаждения кирпича.

Второй особенностью было измерение величины всех газовых потоков. Они измерялись в местах возможного поступления или отбора газовых сред с учетом подсосов через неплотности. Было выявлено, что велики подсосы в зоне нагрева кирпича или в дымовом тракте от печи до дымососа, а также что существенная часть ( $\approx 20\%$ ) воздуха после охлаждения кирпича уходит, вероятно, в зону обжига.

Третья особенность заключается в том, что были измерены в контрольном канале температуры: низа вагонеток, подшипников колес и воздуха на разной высоте. По результатам этих измерений был построен график, на котором видно, что температура колес не превышает  $108\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это хороший результат для эксплуатации подшипников колес. Но обеспечивается он большим по расходу и малым по скорости потоком воздуха в контрольном канале.

Четвертой особенностью является обследование наружных поверхностей ограждений печи с помощью тепловизора IRISYS 1011.

Было сделано около 80-ти пар тепловизионных и фотографических снимков. В центре тепловизионного снимка (рис. 2) находится пятно с аномально высокой температурой. Это место на фотоснимке обозначено лазерным целеуказателем. В этом месте находится ровная стена без конструктивных элемен-

тов, поэтому, возможно, что аномально перегретый участок соответствует внутреннему разрушению кладки.



Рис. 2. Фотографическое и тепловизионное изображение участка боковой стены

Анализ результатов тепловизионного обследования стен и свода печи позволил:

а) выявить места с аномально повышенными температурами (невидимые снаружи разрушения

внутренних слоев кладки);

б) количественно оценить уровень аномальных температурных полей и увидеть их в сравнении с обычными фотографическими снимками.

*Выводы:*

1. Разработана методика теплотехнологических обследований туннельных печей для обжига керамических изделий.

2. Выявлены направления экономии энергоресурсов. Основными являются:

- уменьшение потерь тепла с уходящими газами;
- снижение теплопотерь через ограждения печи. Это может обеспечить экономию топлива 25...30 %.

*Библиографический список*

1. Гнездов Е.Н., Марченко Ю.И., Гущина А.В., Кузьмина Е.Г., Медведева Н.В. Мониторинг температурного поля в сушилке керамических изделий // Строительные материалы. 2008. № 4. С. 39-41.

2. Гнездов Е.Н., Марченко Ю.И., Пережигин Е.А. Разработка и внедрение измерительно-регистрирующего комплекса для мониторинга процесса сушки керамических изделий // Строительные материалы. 2007. № 2. С. 74 -75.

## **ОПЫТ ТРЕХМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА MODEL STUDIO CS ОРУ В ОАО «ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ЭНЕРГЕТИКИ УРАЛА»**

*Чернышова Б. А.*

*ОАО «Инженерный центр энергетики Урала», УрФУ  
biruta@bk.ru*

Развитие современной энергетики в последние годы набирает высокие темпы. Меняются основные принципы проектирования, требования к проектной и рабочей документации, увеличивается заинтересованность заказчика в сжатии сроков, а также стоимости работ по проектированию и строительству электросетевых объектов. Всё это и многое другое приводит к повышенной конкуренции среди проектных организаций.

Компания ОАО «Инженерный центр энергетики Урала» является одним из ведущих предприятий Уральского округа. Квалификация ее работников позволяет выполнять работы любой сложности.

В целях повышения конкурентоспособности с другими проектными компаниями, эффективности распределения ресурсов по объектам, а также ускорения сроков проектирования и облегчения работы проектировщиков генеральным директором ОАО «ИЦЭУ» было принято решение о внедрении трехмерного проектирования при создании проектной и рабочей документации.

С октября по декабрь 2011 года стартовал пилотный проект по выпуску проектной документации на примере ОРУ 110 кВ ПС Калино (основанием для создания трехмерной модели послужил один из рассматриваемых вариантов реконструкции ПС 500 кВ Калино, разработанных проектировщиками ОАО «Инженерный центр энергетики Урала»). Можно отметить, что это уже не первый пилотный проект, реализованный в ИЦЭУ на базе программного продукта Model Studio CS ОРУ.

Программный комплекс Model Studio CS ОРУ предназначен для трехмерного проектирования открытых распределительных устройств (ОРУ), расчета механической части гибких ошиновок открытых распределительных устройств и вводов воздушных линий электропередач электрических станций и подстанций и позволяет решать следующие задачи:

1. Разрабатывать планы размещения оборудования, в т.ч. размещение в трехмерном пространстве;
2. Выполнять механический расчет проводов в соответствии с ПУЭ-7;
3. По результатам расчета, в реальном времени:
  - 3.1. Определять кривые провисания провода в заданном пролете в любых расчетных режимах, в том числе с учетом действия на провод нескольких вертикальных сосредоточенных нагрузок;
  - 3.2. Получать монтажные кривые провода с определением значений горизонтального и максимального натяжений провода и максимальных стрел провеса в зависимости от температуры окружающей среды;
  - 3.3. Определять монтажные стрелы провеса проводов и тросов для всех пролетов;
4. Выполнять проверку допустимых габаритов;
5. Формировать полный комплект проектной документации:
  - 5.1. Чертежи, разрезы, сечения с проставленными размерами;
  - 5.2. Табличная проектная документация в форматах MS Word, MS Excel, AutoCAD, адаптированных и адаптируемых под стандарт проектной организации с рамками, штампами, эмблемами и т.п. [1].

В целях реализации пилотного проекта была организована рабочая группа из пяти человек. В составе рабочей группы были представители электротехнического и строительного секторов отдела комплексного проектирования высокого и сверхвысокого напряжения дирекции «Энергосетьпроект».

Целью пилотного проекта являлась оценка качества выполнения компоновки открытых распределительных устройств (ОРУ) электрических подстанций (ПС) средствами трехмерной графики на примере ОРУ 110 кВ ПС Калино,

получение опыта создания трехмерной модели ОРУ ПС в дирекции «Энергосетьпроект» для дальнейшей работы в целях ускорения разработки проектной документации, а также эффективности использования трудовых ресурсов при проектировании электросетевых объектов.

На первом этапе пилотного проекта представителем компании CSoft было проведено обучение рабочей группы основам работы в программном продукте Model Studio CS OPU.

В ходе пилотного проекта членами рабочей группой был протестирован программный продукт Model Studio CS OPU на предмет соответствия заявленным разработчиком функциям. Были выявлены недочеты и несоответствия. При тесном сотрудничестве с работниками компании CSoft были оперативным путем получены все необходимые консультации по работе в программном продукте, а также успешно настроены шаблоны по стандартам организации для вывода текстовой документации, полученной при помощи функции автоматического формирования, на печать.

В результате при помощи программного продукта Model Studio CS OPU, помимо приобретённого опыта, были получены элементы базы высоковольтного оборудования и строительных конструкций, 3D и 2D модели ОРУ 110 кВ ПС Калино, разрезы по ячейкам, спецификация высоковольтного оборудования, спецификация основных строительных материалов, также был выполнен механический расчет проводов в соответствии с ПУЭ-7.

Подводя итоги, можно сказать, что членами рабочей группы было предложено использовать тестируемый программный продукт: для проработки сложных узлов при компоновке подстанции (например, узел автотрансформаторной группы 500 кВ); для визуализации проектируемого объекта для представления заказчику на этапе формирования общих технических решений по подстанции и проектной документации, а также визуализация объекта по рабочим чертежам – по желанию заказчика, оговоренному в договоре на проектирование.

#### *Библиографический список*

1. Model Studio CS Открытые распределительные устройства 2.0: Материалы группы компаний CSoft [Электронный ресурс] URL: <http://www.csoft.ru/catalog/soft/model-studio-oru/model-studio-oru-2.html>

## **МИКРОКЛИМАТ ЗДАНИЯ С ОКНАМИ ПОВЫШЕННОЙ ГЕРМЕТИЧНОСТИ**

*Чукалин А.В., Рыбушкина О.В., Ртищева А.С.  
Ульяновский государственный технический университет  
chukalin.andrej@mail.ru; al.rtisheva@mail.ru*

Как известно, основные тепловые потери происходят через оконные проемы. Тепловая энергия теряется не только за счет теплопередачи, но и в связи с инфильтрацией воздуха через щели. Однако современные архитектурные проекты не обходятся без применения большого количества стекла и бетонных конструкций. Выход из сложившейся ситуации современные потребители на-

ходят в установке окон повышенной герметичности. Современные технологии идут не только по пути герметичной установки окон и снижения коэффициента теплопередачи за счет использования инертных газов в пространстве между стеклами, а также по пути разработки новых видов энергосберегающего стекла.

*K*-стекло – низкоэмиссионное энергосберегающее стекло *Low-E* (твердое покрытие). Для придания флоат-стеклу энергосберегающих свойств на поверхность еще горячего стекла методом пиролиза в процессе производства на флоат-линии наносится тонкий слой специального металлооксидного покрытия. Такое покрытие, «спекаясь» со стеклом, отличается особой прочностью и поэтому называется «твердое покрытие». Низкоэмиссионное покрытие *k*-стекла обращено в межстекольное пространство. Покрытие *k*-стекла не пропускает тепловое излучение в длинноволновом диапазоне, например, от приборов и систем отопления.

*I*-стекло – энергосберегающее низкоэмиссионное стекло *Double Low-E* (мягкое покрытие). Отличия между *i*-стеклом и *k*-стеклом заключаются как в технологии производства, так и в энергосберегающих свойствах. Получение *i*-стекла предполагает нанесение на его поверхность оптического низкоэмиссионного покрытия на основе окислов металлов с использованием высоковакуумного производственного оборудования, оснащенного системой магнетронного распыления. Низкоэмиссионное *Double Low-E* покрытие *i*-стекла толщиной в несколько десятков нанометров прозрачно, обладает хорошей светопропускающей способностью и еще более лучшими энергосберегающими свойствами.

Однако, установка окон повышенной герметичности вызывает целый ряд проблем. Нарушение естественной вентиляции приводит к скоплению больших концентраций углекислого газа в общественных зданиях, так как старые системы вентиляции были спроектированы с учетом естественного воздухообмена. В жилых зданиях (где осуществляется приготовление пищи, стирка белья и др.) из-за повышенной герметичности возрастает уровень влажности.

Кроме повышения концентрации углекислого газа и влажности воздуха замена старых окон на новые привела к значительному изменению распределения температур на оконном откосе. Наиболее заметно это в зданиях с однородными стенами (кирпич). Из-за гораздо меньшей ширины оконной коробки (60-70 мм) плоскость окна оказывается в зоне более низких температур, что приводит к более низкой температуре примыкания того же штукатурного откоса к коробке. Два «фактора риска» – повышенная влажность воздуха и стоки тепла по кирпичу – привели к резкому увеличению вероятности достижения на поверхности откоса «точки росы», выпадению конденсата, появлению плесени и грибков [1-3].

Таким образом, большую важность приобретают системы вентиляции. Для общественных зданий должна быть произведена реконструкция систем вентиляции, так как при установке окон повышенной герметичности нагрузка на систему вентиляции должна возрасти. Большой интерес при этом представляет расчет затрат тепловой энергии, для нагрева воздуха системы вентиляции и подсчет реальной экономии денежных средств при оборудовании зданий окнами повышенной герметичности.



### *Библиографический список*

1. Березовский Н.И. Технология энергосбережения : учеб. пособие / Н.И. Березовский, С.Н. Березовский, Е.К. Костюкевич. Минск: БИП-С Плюс, 2007. 152 с.
2. Еремкин А.И. Тепловой режим зданий / А.И. Еремкин, Т.И. Королева. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2001. 368 с.
3. Холщевников В.В. Климат местности и микроклимат помещений / В.В. Холщевников, А.В. Луков. –М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2001. 200 с.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СМЕСЕПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЩЕЛЕВЫХ ГГУ С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ ВОЗДУХА**

*Яковлев В.А.*

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
yakovlevspb@rambler.ru*

В настоящее время в различных отраслях экономики широко находят своё применение газовые котлы малой мощности. Для повышения эффективности их работы в широком диапазоне регулирования тепловой мощности необходимо применять газогорелочные устройства, позволяющие обеспечить условия, интенсифицирующие теплообменные процессы в топке, снижающие концентрации СО и NO<sub>x</sub> в уходящих газах до предельно возможных величин, а также повышение безопасности эксплуатации котельного оборудования.

В прошлом веке научно-исследовательскими институтами нашей страны производилась разработка и испытания щелевых газогорелочных устройств с принудительной подачей воздуха. По сравнению с блочными автоматизированными дутьевыми горелками, выпускаемыми различными отечественными и зарубежными производителями в настоящее время, щелевые горелки, при условии усовершенствования их смесеподготовительной системы, могли бы иметь неплохую перспективу.

В отличие от достоинств современных дутьевых горелок модифицированные щелевые горелки могут обладать рядом собственных преимуществ, таких как: простота конструкции и низкая стоимость, возможность оснащения системой автоматики любого производителя, не исключается наличие возможности быстрой переналадки на сжигание иного по составу невзаимозаменяемого газа.

Для создания возможности эффективного горения газа в щелевых ГГУ необходимо обеспечить требуемое качество подготовки газозвоздушной смеси до сжигания. За это качество отвечает конструкция смесеподготовительной системы горелки, которая должна создавать такую интенсивность молярной диффузии газа и воздуха, которая позволит полностью завершить процессы горения газозвоздушной смеси в факеле.

Из теории горения известно, что сокращение длины, повышение температуры факела, а также снижение коэффициента избытка воздуха достигается путём повышения равномерности состава газозвоздушной смеси до подачи её к

месту сжигания, а к снижению температуры, увеличению длины факела приводит ухудшение равномерности состава подготовки газовойздушной смеси. Этот механизм работы смесеподготовительной системы горелки является мощным средством их регулирования.

За равномерность состава смеси отвечает работа смесеподготовительной системы горелки, которая должна организовывать процессы смесеподготовки газовойздушной смеси до сжигания. Принцип ее работы заключается в том, что для обеспечения поддержания на заранее отрегулированных режимах работы горелки (при не изменяющихся давлении газа и воздуха перед горелкой) автономность массообменных процессов во взаимодействующих потоках газа и воздуха по длине щелевого канала горелки.

Для возможности оптимизации смесеподготовительной системы горелки необходимо иметь детальное представление о физических законах развития газовых струй внедряющихся в набегающий поперечный поток воздуха под различными углами.

Для создания горения газа, близкому к кинетическому, конструкция смесителя должна обеспечивать подготовку равномерно перемешанной газовойздушной смеси с минимальным  $\alpha$  до подачи её в зону горения. Это возможно, если раздаваемые из огневых отверстий коллектора горелки в поперечный ограниченный поток воздуха газовые струи будут иметь в смесеподготовительной системе горелки такие геометрических параметры, которые позволят с наблюдающимся в смесителе горелке темпом молярной диффузии производить подготовку газовойздушной смеси постоянного состава.

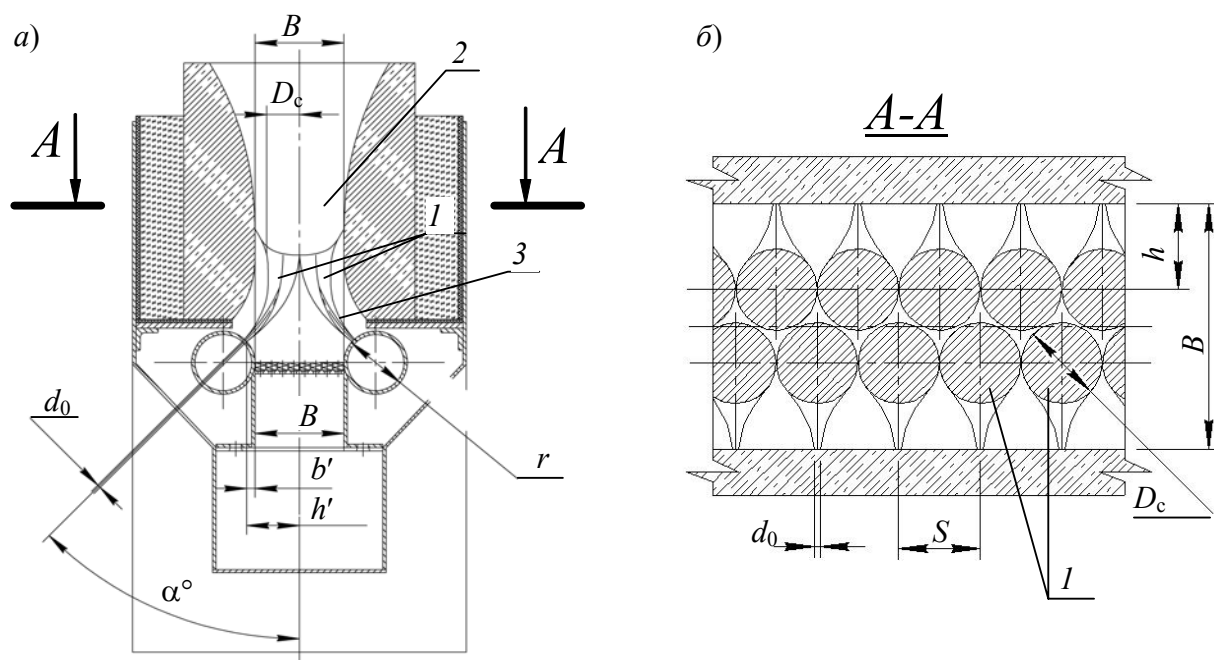


Рис. 1. Схема распределения газовых струй в поперечном ограниченном потоке воздуха  
а – вертикальный разрез горелки; б – продольный разрез щели, выполненный в горизонтальной плоскости канала с обозначением развивающихся в нём газовых струй; 1 – газовойздушные струи; 2 – место начала горения газовойздушной смеси; 3 – ядро струи.

Для повышения равномерности распределения скоростей воздушного потока по сечению щели могут применяться следующие способы:

- изменение площади сечения воздухораздающего короба;
- сохранение разности статического давления постоянной по длине воздухораздающего короба (применение короба переменного сечения);
- введение в конструкцию короба воздухораздающих лопаток, поддерживающих постоянство расхода воздуха на каждом обслуживаемом выпускном сечении короба;
- установка перфорированного листа.

В новой горелке был использован способ, предусматривающий установку воздухораспределительного листа, представляющего собой устройство, имеющее высокий коэффициент местного сопротивления, способное выполнить полное преобразование динамического напора воздуха до себя в статический напор, а также произвести закрутку воздуха. Для этого необходимо, чтобы суммарная площадь живого сечения отверстий перфорированного листа  $\Sigma f_{\text{кан}}$  была меньше площади проходного сечения воздухоподающего патрубка  $F_{\text{п}}$ .

Для увеличения скорости молярной диффузии потоков в каналы перфорированного листа горелки устанавливаются завихрители воздушного потока. Схема распределения газовых струй показана на рис. 1, а схема воздухораспределительной камеры горелки на рис. 2.

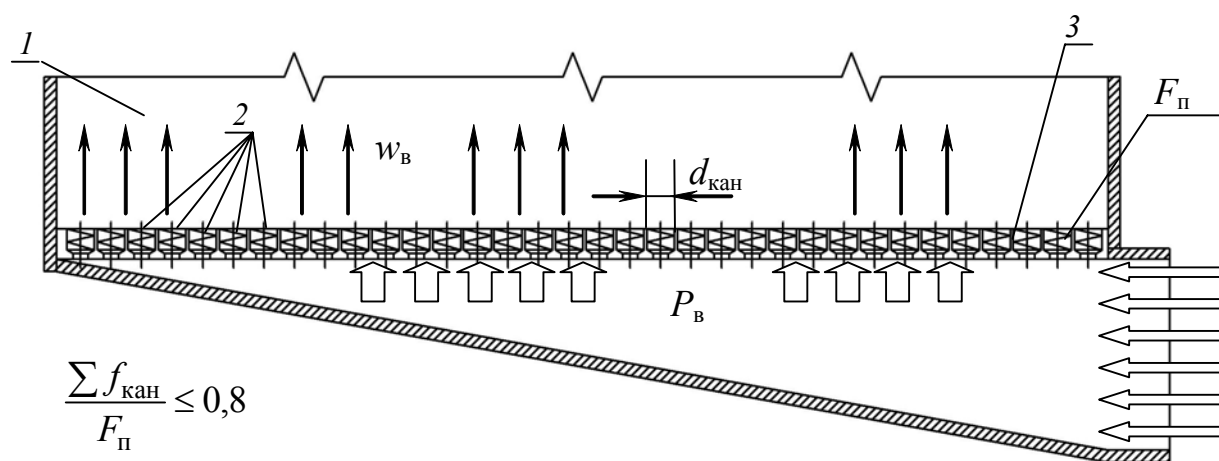


Рис. 2. Схема работы воздухораспределительной камеры горелки

1 – равномерно распределённый воздушный поток; 2 – воздухораспределительные каналы; 3 – воздухораспределительная решётка;  $P_{\text{в}}$  – давление в воздухораспределительном коробе;  $w_{\text{в}}$  – скорость воздуха;  $\Sigma f_{\text{кан}}$  – общая площадь входного живого сечения каналов,  $\text{м}^2$ ;  $F_{\text{п}}$  – давление воздуха в коробе;  $w_{\text{в}}$  – средняя скорость воздуха за перфорированным листом.

## **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ В ООО «МЕДНОГОРСКИЙ МЕДНО-СЕРНЫЙ КОМБИНАТ»**

*Акинфеева В.И., Мухина Е.А., Кривова С.Д., Толкачева Л.Е.*

*УрФУ, sfkatyshev@mail.ru*

Серноокислотный цех в ООО «Медногорский медно-серный комбинат» предназначен для переработки и утилизации технологических газов плавильного агрегата, шахтных печей и конвертеров цеха производства меди. Процесс осуществляется по полной классической схеме производства кислоты контактным методом. Цех состоит из двух параллельно работающих технологических ниток производительностью 150000 м<sup>3</sup>/ч газа. Однако объем серосодержащих газов составляет 190000 м<sup>3</sup>/ч. Поэтому часть газа направляется на очистку от соединений серы. При этом безвозвратно теряется ценное сырье – диоксид серы, которое может быть переработано в серную кислоту.

Целью работы явилось изыскание способа переработки всего отходящего газа медеплавильного производства при минимальной реконструкции цеха серной кислоты с экономией материальных и финансовых ресурсов предприятия.

При изучении работы цеха было выявлено, что первая технологическая нитка, работающая на контактном аппарате нестационарного окисления, не в состоянии перерабатывать объем газа более 50000 м<sup>3</sup>/ч в силу устаревшего оборудования. Вторая нитка, на которой установлен контактный аппарат стационарного окисления, более современная и в настоящее время перерабатывает около 100000 м<sup>3</sup>/ч газа. Расчет скорости увеличенного газового потока показал, что при переработке 140000 м<sup>3</sup>/ч газа эта величина составит 1,4 м/с. Однако максимально допустимая скорость газового потока не должна превышать 1,2 м/с. Это доказывает невозможность переработки на второй технологической нитке запланированного объема газа без существенной реконструкции. Для снижения значения скорости потока газа до допустимого, объем газа может составлять не более 121000 м<sup>3</sup>/ч. Следовательно, увеличение объема перерабатываемого газа возможно на 21000 м<sup>3</sup>/ч.

С целью изыскания возможности увеличения пропускной способности основного и вспомогательного оборудования был проведен мониторинг работы каждого отделения: промывного, сушильного, контактно-компрессорного и абсорбционного.

Анализ промывного отделения показал, что для обеспечения очистки увеличенного объема газа от тумана серной кислоты необходимо провести модернизацию. В настоящее время в промывном отделении находятся одна полая промывная башня, одна – с насадкой, увлажнительная башня и две ступени электрофильтров марки ЭВТМ-1-14,6-3,8-900-СПФ. Указанный электрофильтр представляет собой односекционный, вертикальный, мокрый, трубчатый аппарат с использованием новых полимерных конструкций осадительных и коронирующих электродов. Данный полимерный материал обладает целым комплексом свойств, придающих электрофильтру преимущество перед зарубежными аналогами: хорошая тепло- и электропроводность, химическая стойкость в агрессивных средах, устойчивость к электрическим пробоям, гидрофобность,

технологичность, позволяющая при изготовлении легко создавать конфигурации электродов различного профиля. Таким образом, эта марка электрофильтра является оптимальной для сернокислотного производства. По результатам расчета электрофильтра было установлено, что для обеспечения очистки  $121000 \text{ м}^3/\text{ч}$  газа необходимо установить дополнительно по одному электрофильтру на каждую ступень, что осуществимо в данном отделении.

Анализ и расчет башенного оборудования в промывном отделении показал необходимость в увеличении слоя насадки во второй промывной и увлажнительной башнях с 2,88 до 3,70 м. Это вполне осуществимо, так как высота насадки по техническим характеристикам башен может составлять до 7,58 м.

На данный момент на второй технологической нитке параллельно работают два однотипных контактных узла, перерабатывающих по  $50000 \text{ м}^3/\text{ч}$  газа. В каждом из них установлен четырехслойный контактный аппарат стационарного окисления. Анализ работы этого аппарата и его конструкции показал, что высота полок позволяет увеличить толщину слоя контактной массы. По расчетам установлено, что высота первого слоя – 0,70 м, второго слоя – 0,67 м, третьего слоя – 0,64 м и четвертого слоя – 0,60 м. Таким образом, толщина слоя контактной массы в среднем увеличится на 20,8 %.

Для контактного узла существенным является вопрос отвода тепла с помощью теплообменников. По данным технологического регламента на проектирование второй технологической нитки заложенный запас поверхности теплообмена составляет около 70 %, что дает возможность отводить необходимое количество тепла при увеличенном объеме перерабатываемого газа.

При оценке сушильно-абсорбционного отделения было установлено, что для обеспечения требуемых степеней осушки и абсорбции повышенного объема перерабатываемого газа необходимо увеличить высоту слоя насадки в сушильной башне и моногидратном абсорбере на 26,1 %, что также технически осуществимо.

Далее был рассмотрен вопрос о возможности транспортировки увеличенного объема газа находящимися в эксплуатации нагнетателями марки Н-1050-13-1. На каждом контактном аппарате имеется по одному нагнетателю с производительностью  $50000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Было установлено, что для обеспечения транспортировки на каждом  $60500 \text{ м}^3/\text{ч}$  газа необходимо заменить существующие нагнетатели на более мощные. Исходя из объемов транспортируемого газа в системе, его температуры и состава выбран нагнетатель той же марки, но с большей производительностью –  $1400 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

В результате предложенной модернизации второй технологической нитки объем перерабатываемого газа увеличится на 21 %, что позволит увеличить выпуск серной кислоты с 231000 до 279000 т. Расчеты материальных и тепловых балансов производства, а также расчеты оборудования доказали возможность осуществления проектируемой технологии с минимальной модернизацией цеха серной кислоты. Техничко-экономические расчеты показали, что условно-годовая экономия составит 17,3 млн руб., окупаемость дополнительных капитальных вложений – 1,2 года.

Таким образом, предлагаемое решение позволит повысить степень использования сырья – диоксида серы и сэкономить материальные и финансовые ресурсы предприятия.

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЯ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА В СТЕКОЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

*Альбаева И.И., Ковязина И.С., Лагунова Е.Ю., Саетова Н.С., Власова С.Г.  
УрФУ, vlassvet@k66.ru*

В последнее время остро стоит проблема ресурсо- и энергосбережения. Любая отрасль промышленности заинтересована в том, чтобы получать высококачественный продукт при минимальных затратах.

Использование в стекольном производстве материалов Уральского региона позволит значительно сократить затраты на транспортировку материалов, и, следовательно, снизить себестоимость сырья, если сохранится при этом качество конечного продукта. Такая задача была поставлена перед студентами кафедры «Технология стекла», и представлены необходимые для стекловарения местные сырьевые материалы. Химический состав сырьевых материалов месторождений Уральского региона приведен в таблице (мас. %).

Сырье	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
Необогащенный кварцевый песок, Каменское м/р	96,16	1,42	0,29	0,07	0,71	0,15	0,25	0,24
Обогащенный песок	98,52	0,61	0,17	0,04	0,19	0,05	0,14	0,05
Доломит, Первоуральск	1,50	1,00	33,60	18,20	0,20			
Известняк, Сосновское м/р	0,70	1,03	54,20	0,80	0,12	0,07	0,07	0,05
ПШК, Вишневогорский ГОК	59,50	21,80			0,19	15,10		

В производстве бесцветных стеклоизделий в первую очередь, конечно, уделяют внимание чистоте применяемого сырья, и лишь потом – обесцвечиванию стекломассы.

Нами было изготовлено пять образцов с разным составом шихты: 1) с необогащенным кварцевым песком, 2) с обогащенным (содержание оксида железа снизилось в 2,3 раза), 3) с добавкой натриевой селитры, 4) с добавкой комплексного окислителя: калиевой селитры и оксида сурьмы, 5) с калиевой селитрой и оксидом церия в качестве обесцвечивателя.

Варка производилась в силитовой печи в корундовых тиглях при температурах 1400-1500 °С в течение 6 часов, отлив – в металлические подогретые формы, затем отжиг в муфельной печи при 560-580 °С. Полученные стекла обладали неплохими варочными свойствами, не имели включений, не отличались повышенной тугоплавкостью.

Все образцы светопрозрачны, но образец № 1 обладает светопропусканием всего 83 %, имеет самый заметный сине-зеленый оттенок, что связано с на-

личием оксидов железа в песке в большом количестве, недопустимом для стекловарения, если необходимо получить бесцветное стекло, а также других примесей. Опыты с использованием необогащенного кварцевого песка проведены для того, чтобы наглядно показать изменение цвета образцов с введением обесцвечивателей в шихту. В образцах № 2 и № 3 светопропускание составляет 87 и 91 % соответственно. Образец № 4 с добавлением осветлителей селитры и оксиды сурьмы и образец № 5 с добавкой селитры и оксида церия обладают самым высоким светопропусканием 93 и 94 %, что удовлетворяет ГОСТ 111-90 (светопропускание стекол марок М3-М6 должно быть не меньше 85 %, а улучшенных, термополированных в частности, – более 90 %).

Очевидно, что для достижения максимального светопропускания и наилучшего осветления стекломассы необходимо было ввести комплексный обесцвечиватель. Что происходит при этом?

Оксиды железа в стекле находятся в состоянии подвижного равновесия



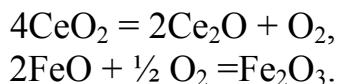
В присутствии окислителей или свободного кислорода реакция будет сдвигаться в сторону образования  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , т.е. в оксидную форму железа (III), менее интенсивно окрашивающую стекло. В нашем случае необходимо было добиться этого за счет окисления в процессе варки стекла.

При применении селитры (калиевая дала больший эффект, чем натриевая) часть кислорода выделяется из нее еще до стадии стеклообразования, поэтому для дополнительного ввода кислорода и рационального использования кислорода селитры ввели оксид сурьмы (в оптическом стекловарении используют оксид мышьяка, но это дороже и опаснее). Особенность его действия заключается в следующем: при сравнительно низких температурах  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  окисляется до  $\text{Sb}_2\text{O}_5$ , а затем при высоких температурах диссоциирует с выделением свободного кислорода



Газообразный кислород участвует в осветлении стекломассы, а активные ионы кислорода способствуют образованию комплексов  $\text{Fe}^{3+}$ .

Оксид церия (IV) является сильным окислителем, механизм действия аналогичен.



Опыты показали, что эффективней вводить оксид церия в определенном количестве (превосходить содержание оксидов железа в 3-4 раза) при обязательном вводе селитры. Оксид церия, введенный в шихту, одновременно с обесцвечиванием способствует осветлению стекломассы, т.е. удалению из нее пузырей.

Мы предлагаем использовать указанное местное сырье в качестве шихты для изготовления листового стекла, тарного и других изделий, не требующих особо высокой степени чистоты исходных материалов.

При условии дальнейшего обогащения кварцевого песка можно рекомендовать получение из него термополированного стекла.

Итак, использование местных сырьевых материалов поможет ускорить производственный процесс и снизить затраты, а значит и себестоимость продукции.

## LA CHIMIE VERTE

*Аникин А.К., УрФУ, rsbf@mail.ru  
Remy T.Gard, Université de Rennes I, Rennes, France*

La notion de chimie verte (traduction littérale de *green chemistry*) est apparue en 1991 aux Etats-Unis, et s'inscrivait pleinement dans le cadre de la loi de prévention de la pollution (Pollution Prevent Act) adoptée en 1990. Cette loi a permis d'instaurer une politique de prévention et de réduction de la pollution à la source, en organisant, par exemple, la conception de produits ou de procédés chimiques réduisant ou éliminant l'utilisation de substances dangereuses pour la santé et/ou l'environnement. Ces premières initiatives de recherches répondaient à quatre concepts fondamentaux, qui seront plus tard repris et détaillés par Anastas et Warner à travers les 12 principes, aujourd'hui mondialement reconnus comme les bases de la chimie verte.

### **Les quatre concepts de base de la chimie verte:**

#### **1. Mieux utiliser la matière première.**

Utiliser au maximum les matières premières, qui transformées, doivent se retrouver le plus largement possible dans le produit final, limitant ainsi la production de sous-produits. Ceci sousentend d'appauvrir au maximum la matière première utilisée et les déchets résiduels produits (devenant ainsi plus inoffensif pour l'environnement).

#### **2. Utiliser des solvants propres, non toxiques et compatibles avec l'environnement.**

Abandonner, par exemple, certains solvants organiques tels que le benzène au profit d'utilisation croissante de fluides supercritiques.

#### **3. Utiliser au mieux l'énergie, en termes de rendement, d'économies, de sources et de rejets.**

Exemple d'application: recherche et développement d'agrocarburants de première et de seconde génération, maîtrise des rejets gazeux des véhicules (utilisation des catalyseurs dans les pots d'échappement, filtres à particule...).

#### **4. Produire des quantités minimales de déchets dans des formes adaptées (solide, liquid ou gazeuse) qui limitent leur dissémination potentielle et facilitent le recyclage.**

Thématique de l'éco-conception par exemple.

Et bien, conception, le développement et l'utilisation de produits chimiques et de procédés visant à réduire ou éliminer l'usage ou la formation de substances dangereuses ou toxiques pour la santé et l'environnement». Stéphane SARRADE complète cette définition: «...la chimie verte, c'est concevoir des produits et des procédés industriels à partir du génie des procédés avec un impact minimum sur trois domaines majeurs: la santé des opérateurs, la qualité de l'environnement et la santé des consommateurs».



Si l'on prend cette définition, alors la mise en oeuvre de technologies vertes ne peut se concevoir que dans le cadre d'une analyse globale, de la matière première jusqu'à la fin de vie du produit. La chimie verte est systématiquement associée aux 12 principes développés en 1998 par Paul T. ANASTAS et John C. WARNER, deux chimistes américains, co-auteurs de «Green Chemistry: Theory and Practice». Ces principes concernent aussi bien la synthèse de nouveaux produits plus écologiques que la recherche et l'utilisation de solutions alternatives aux produits existants.

### Principes de la chimie verte

N°	Principes	Grands enjeux technologiques
1	Prévention: prévenir et limiter la production des déchets plutôt que d'investir dans l'assainissement ou l'élimination des déchets.	Modélisation, analyse du cycle de vie du produit, procédés propres.
2	L'économie d'atomes: conception de réactions chimiques dans lesquelles l'incorporation des atomes de départ est optimisée.	Modélisation, génie des procédés, nouvelles voies de synthèse.
3	Synthèses chimiques moins nocives: lorsque c'est possible, utiliser et créer des substances chimiques faiblement ou non toxiques pour la santé humaine et l'environnement.	Nouvelles voies de synthèse, Toxicologie et Eco-Toxicologie.
4	Conception de produits chimiques et de composés chimiques moins toxiques et plus sûrs.	Toxicologie et Eco-Toxicologie, génie des procédés, nouvelles voies de synthèse.
5	Suppression ou réduction de substances auxiliaires telles que les solvants, les agents de séparation; sélectionner des solvants plus sûrs.	Génie des procédés... Exemple: CO <sub>2</sub> supercritique: inodore, chimiquement inerte, non inflammable, ce solvant est l'un des principaux fluides supercritiques industriels.
6	Amélioration du rendement énergétique: amélioration du bilan énergétique par la mise au point de méthodes de synthèse dans des conditions de température et de pression ambiantes.	Modélisation, catalyse, thermique, échangeurs de plaques etc.
7	Utilisation de matières premières renouvelables en substitution des ressources fossiles (charbon, pétrole...).	Biomasse, Agro-Ressources.
8	Réduction du nombre et de la quantité de produits dérivés.	Génie des procédés, intensification des procédés, nouvelles voies de synthèse.

9	Utilisation de procédés catalytiques (accélérer une réaction chimique en abaissant sa barrière énergétique).	Intensification des procédés, catalyse, recyclage, optimisation des rendements...
10	Conception de substances à dégradation finale non persistante: utilisation et conception de produits de dégradation non nocifs à la fin de leur durée d'utilisation.	Toxicologie et Eco-Toxicologie, modélisation, génie des procédés, analyse du cycle de vie du produit.
11	Analyse en temps réel de la pollution: les méthodologies analytiques sont développées pour permettre une surveillance et un contrôle en temps réel et en cours de production avant l'apparition de substances dangereuses.	Toxicologie et Eco-Toxicologie, capteurs, modélisation...
12	Développement d'une chimie plus sécuritaire: minimiser les risques d'accidents chimiques, les explosions, les incendies...	Toxicologie et Eco-Toxicologie, technologies.

Ainsi, la chimie verte – c'est la tendance vers plus propres et plus économes des industries en future.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА МОНОХРОМАТА НАТРИЯ

*Антипов А.С., Низов В.А., Катыйшев С.Ф.  
УрФУ, E-mail: sfkatyshev@mail.ru*

В настоящее время соединения хрома получают на Первоуральском, Новотроицком и Актюбинском хромовых заводах. Во всех трёх вариантах, в голове процесса – окислительный обжиг хромита Кемпирсайского месторождения. Хромит является мономинеральным сырьём условного состава  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$ . Процесс проводят при температуре до 1200 °C с переводом  $\text{Cr}^{3+}$  в  $\text{Cr}^{6+}$  с получением монохромата натрия. Водные растворы  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ , так называемые жёлтые щелока – являются первичным продуктом переработки хромитов и полупродуктом для получения многотоннажных соединений хрома. В состав шихты вводится наполнитель на основе кальциевых соединений, который составляет примерно половину её массы.

Наполнитель играет двоякую роль. С одной стороны, считается, что ввод наполнителя препятствует сплавлению прокаливаемой массы и позволяет достичь высокой степени перевода хрома в растворимое состояние [3]. С другой стороны, соединения кальция составляют основу шламовых отходов, содержащих значительное количество  $\text{Cr}^{6+}$ , которое представляет серьёзную экологическую угрозу. Кроме того, столь большие объёмы наполнителя обуславливают высокие энергетические затраты. Очевидно, что проведение процесса без наполнителя позволит решить эти проблемы. К настоящему времени исследована

возможность перехода на двухкомпонентную шихту состава хромит – кальцинированная сода. Однако в этом случае не достигается высокая степень окисления хрома из-за сплавления прокаливаемой массы при обжиге за счёт перекрытия доступа кислорода к зёрнам хромита. Для решения этой проблемы предполагается заменить часть соды на окисляющую добавку. При введении окислителя непосредственно в шихту можно достичь высоких степеней окисления хрома и снизить температуру обжига примерно на 100 °С [1, 2]. Значительное снижение материальных потоков увеличит производительность прокалочных печей примерно в два раза и позволит выщелоченную массу вновь возвращать в голову процесса для более полного извлечения хрома.

В действующих производствах, крупным материальным потоком является сильно запылённый газ обжиговых печей. Для его удовлетворительной очистки требуются сложная система санитарно-технической очистки, включающая в себя дорогие в обслуживании электрофильтры. Уловленную пыль возвращают в шихту, что также влечёт значительные энергетические затраты и даёт дополнительную нагрузку на прокалочные печи. Грануляция шихты с добавлением окислителя позволит резко сократить пылеунос из печи и упростить систему газоочистки.

Очевидно, что реализация данных предложений позволит значительно сократить издержки производства, а также открывает возможность переработки хроматных шламов в огнеупоры. Однако они требуют более полного теоретического и практического изучения, что и является предметом моего исследования.

#### *Библиографический список*

1. Низов В.А., Катышев С.Ф. // Вестник УГТУ-УПИ. Сер. химическая. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. Вып. № 23. С. 151-153.
2. Низов В.А., Корлыханов А.А. Способ получения хромата щелочного металла. Заявка № 2003101568 от 20.01.03.
3. Авербух Т.Д., Павлов П.Г. Технология соединений хрома. Изд. 2-е, испр. Л.: Химия, 1973. 336 с.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДЕНИЯ ВТПУ НА РАСХОД ПЕРВИЧНОГО ЭНЕРГОРЕСУРСА**

*Арапова Л.Н., Нешпоренко Е.Г.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
neshporenkoeg@mail.ru*

Одной из важных и актуальных проблем, возникающих в различных областях науки и производства, является проблема энергосбережения. Под энергосбережением стоит понимать комплекс мер, направленных на эффективное использование топливно-энергетических ресурсов.

Одним из направлений повышения тепловой эффективности высокотемпературных установок является снижение тепловых потерь в окружающую среду через ограждение. Существуют различные способы снижения значения теплового потока, основные из которых (рисунок): повышение термического сопро-

тивления кирпичной кладки ограждения; тепловая изоляция кладки стен высокотемпературных установок с использованием огнеупорных теплоизоляционных материалов; использование способа «температурный барьер», позволяющего снижать поток теплоты через внутреннюю поверхность ограждения; использование пористых стенок ограждения, и др. [1].

В данной работе сравниваются методы снижения тепловых потерь высокотемпературных установок обозначенных способов.

В качестве базового варианта ограждения высокотемпературных установок принято ограждение, выполненное из огнеупорных материалов: динас и шамот, у которых огнеупорность выше 1600 °С [2]. Условия на границах: температура горячей поверхности 1600 °С, температура холодной поверхности 20 °С, коэффициент теплопроводности материалов зависит от температуры стенки, суммарная толщина термических сопротивлений 0,2 м.

В общем случае расчет теплового потока через ограждение рассчитывается по формуле [3]:

$$q = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\lambda_i}{\delta_i} \cdot (t_1 - t_{n+1}), \quad (1)$$

где  $\delta_i$  – толщина термического сопротивления, м;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности при средней температуре слоя, Вт/(м·К).

Тепловой поток, проходящий через каждый отдельный слой, будет один и тот же. Таким образом, можно рассчитать количество теплоты, теряющееся в

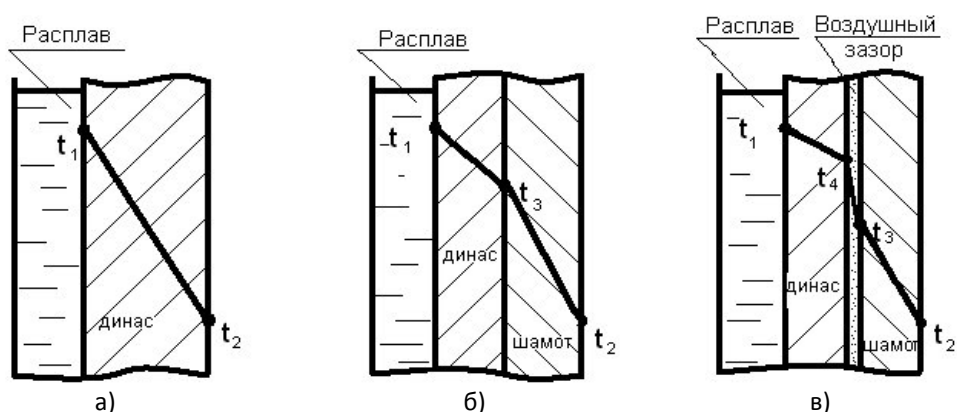


Рис. 1. Распределение температур в стенке:

а – однослойная стенка; б – двухслойная стенка; в – «температурный барьер»

окружающую среду для однослойной, двухслойной и трехслойной стенки. В последней, в качестве третьего слоя применен воздушный зазор. Задача усложнена тем, что теплопроводность стенки зависит от температуры самой стенки [2, 4]:

$$\lambda_o(t_{cp}) = 0,58 + 43,6 \cdot 10^{-5} \cdot t_{cp}, \quad (2)$$

$$\lambda_u(t_{cp}) = 0,47 + 16,3 \cdot 10^{-5} \cdot t_{cp}. \quad (3)$$

где  $\lambda_o(t_{cp})$  – теплопроводность слоя ограждения из динаса при средней температуре;  $\lambda_u(t_{cp})$  – теплопроводность слоя ограждения из шамота при средней температуре.

Расчеты показали, что для однослойной стенки, выполненной из 0,2 м динаса, тепловой поток через ограждение составляет  $7372 \text{ Вт/м}^2$ . Для двухслойной стенки, выполненной из 0,1 м динаса с горячей стороны и 0,1 м шамота с холодной стороны, тепловой поток составил  $5979 \text{ Вт/м}^2$ . В случае «температурный барьер» в виде прослойки из воздуха, размером 1 см, тепловой поток снизится до  $4222 \text{ Вт/м}^2$ .

Таким образом, применение различных теплотехнических методов организации ограждения позволяет сократить тепловые потери в окружающую среду на 43 % по отношению к базовому варианту.

Тепловые потери через ограждение влияют на расход топлива (энергоресурса). Возрастание тепловых потерь через ограждение приводят к экспоненциальному росту затрат топлива на процесс. Особенно это актуально для высокотемпературных восстановительных процессов, в которых теплота топлива не может быть использована полностью по условиям организации процессов.

Тепловой баланс нагревательных печей в основном состоит из следующих расходных статей: тепловые потери с отходящими газами  $Q_{ог}$  70 % и 30 % распределены между тепловыми потерями через ограждение  $Q_{ос}$  и теплоснабжением технологических материалов  $Q_{тм}$ .

Например, в печи нагревается металл. В принятых условиях, для базового варианта тепловой баланс выглядит следующим образом:  $Q_{ог}$  70 %,  $Q_{ос}$  9,5 %,  $Q_{тм}$  20,5 %. При этом расход топлива в условном эквиваленте составляет 0,264 кг у.т. на 1 кг нагреваемого металла. Для двухслойного ограждения из динаса и шамота – 0,248 кг у.т./кг. При «температурном барьере» – 0,226 кг у.т./кг. Следовательно, расход топлива в окружающую среду сократился на 14 %, за счет улучшенной теплоизоляции зоны высоких температур.

Таким образом, были исследованы различные методы теплоизоляции для снижения тепловых потерь и расхода топлива через ограждение ВТПУ. Однако, предельное снижение расхода топлива возможно только при полном снижении тепловых потерь через ограждение до нуля путем увеличения термического сопротивления или путем применения новых теплотехнических принципов использования этой теплоты в пределах тепловой схемы процесса.

#### *Библиографический список*

1. Ключников А.Д. Энергетика теплотехнологии и вопросы энергосбережения. М.: Энергоатомиздат, 1986. 128 с.
2. Теплоэнергетика и теплотехника: Общие вопросы: Справочник / Под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. 3-е изд., перераб. Кн. 1. М.: Изд-во МЭИ, 1999. 528 с.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: учебник для вузов 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.
4. Теплофизические свойства технически важных газов при высоких температурах и давлениях: Справочник / В.Н. Зубарев, А.Д. Козлов, В.М. Кузнецов и др. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МАССООБМЕНА ЛИТЕЙНОГО ПЕСКА В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЦИКЛОНЕ

Афанасьева М.А., Ельцова И.В., Рязанова Е.А., Сорокина Е.А., Шериев А.Р.,  
Забил Р.В., Корабельникова Д.А., Худякова Т.А., Якимова И.В., Замураев А.Е.  
УрФУ

На кафедре ОАСП проводится лабораторный практикум [1] для студентов, причём ряд работ проводятся на установках, в которых моделируются процессы производства строительных материалов и энергосберегающие технологии. Группой студентов МТ-531601 были проведены исследования массообмена при сушке литейного песка в прямоточном горизонтальном циклоне. Ранее такие исследования проводились в вертикальном циклоне [2].

Исследования проводились на лабораторном стенде рис. 1.

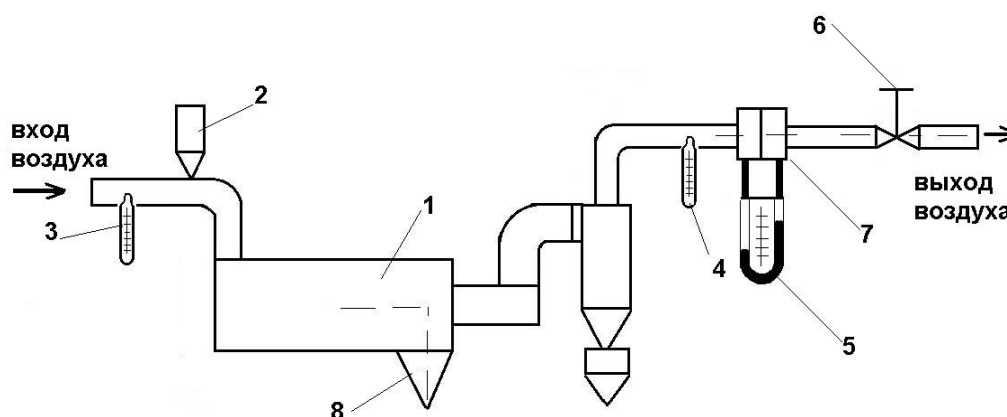


Рис. 1. Схема установки для испытания циклона:

1 – циклон; 2 – загрузочное устройство; 3,4 – термометры; 5 – U-образный манометр;  
6 – вентиль; 7 – диафрагма; 8 – разгрузочное устройство

Внутренний диаметр циклона равен 100 мм. Входной патрубок имеет размеры 76×32 мм. Во входной трубопровод перед циклоном 1 поступает горячий воздух. Циклон соединен с водокольцевым вакуум-насосом ВВН-12 выходным трубопроводом. В качестве измерительного прибора используется U-образный манометр 5, подключенный к диафрагме 7, для определения расхода воздуха. Расход воздуха регулируется вентилем 6.

Влажный песок поступает во входной трубопровод циклона из загрузочного устройства 2, далее песок проходит через циклон и улавливается в бункере 8. Подсушенный материал из бункера циклона взвешивался на весах и высушивался.

Значения расхода, скорости потока и концентрации материала в воздухе представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения расхода и скорости воздуха в циклоне, концентрации материала

Поз.	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$W_{\text{пл}}, \text{ м/с}$	$W_{\text{вх. патр.}}, \text{ м/с}$	$\mu, \text{ кг/м}^3$
3	0,023562	3,0	9,688	0,1413
4	0,031416	4,0	12,918	0,1060
5	0,03927	5,0	16,147	0,0848
6	0,047124	6,0	19,377	0,0707

Результаты исследований сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений влажности песка от 21.11.2012 г. при  $P_{\text{бар}} = 100,0$  кПа

Поз.	Расход воздуха $Q, \text{ м}^3/\text{с} / W_{\text{п}}, \text{ м/с}$	$G_{\text{вл}}, \text{ г}$	$G_{\text{сух}}, \text{ г}$	$G_{\text{выс}}, \text{ г}$	$G_{\text{прок}}, \text{ г}$	Показания термометров $t, ^\circ\text{C}$		Содержание влаги в шпате на абсолютно сухое вещество				На выходе $W_{\text{ср}}, \text{ \%}/\text{г}$
						на входе	на выходе	на входе $W, \text{ г}$	на входе $W, \text{ г}$	на выходе $W, \text{ г}$	на выходе $W, \text{ \%}$	
1	0,023562/3,0	110,0	100,0	33,3	33,2	75	65	10,0	10,0	0,1	0,301	0,517/ 0,167
2	0,023562/3,0	110,0	100,0	74,5	74,2	70	60	10,0	10,0	0,3	0,404	
3	0,023562/3,0	110,0	100,0	11,9	11,8	70	60	10,0	10,0	0,1	0,847	
4	0,031416/4,0	110,0	100,0	38,1	37,8	65	55	10,0	10,0	0,3	0,794	1,179/ 0,3
5	0,031416/4,0	110,0	100,0	19,5	19,2	65	55	10,0	10,0	0,3	1,563	
6	0,031416/4,0	110,0	100,0	0,7	0,7	65	55	10,0	10,0	-	-	
7	0,03925/5,0	110,0	100,0	100,8	100,7	57	47	10,0	10,0	0,1	-	1,653/ 1,5
8	0,03925/5,0	110,0	100,0	108,3	106,7	55	45	10,0	10,0	1,6	1,50	
9	0,03925/5,0	110,0	100,0	78,9	77,5	55	45	10,0	10,0	1,4	1,806	
10	0,047124/6,0	110,0	100,0	139,7	138,3	57	49	10,0	10,0	1,4	1,012	1,633/ 1,267
11	0,047124/6,0	110,0	100,0	50,6	49,3	57	49	10,0	10,0	1,3	2,637	
12	0,047124/6,0	110,0	100,0	89,0	87,9	57	49	10,0	10,0	1,1	1,251	

Определен гранулометрический состав песка. Средний диаметр частиц  $d_{\text{ср}}$  равен  $0,276 \cdot 10^{-3}$  м. Число частиц материала, проходящего через циклон за 1 с, равно 209341. Они дают общую площадь поверхности, равную  $0,0501 \text{ м}^2$ .

Выполнен расчёт коэффициентов массоотдачи и значений диффузионного критерия  $Nu'$  в критериальном уравнении массообмена.

Коэффициент массоотдачи равен:

$$\beta = \frac{G_{\text{н}}(W_{\text{н}} - W_{\text{к}})}{F_{\text{м}}(x_{\text{нас}} - x)\rho_{\text{с.в.}}}, \text{ м/с.}$$

Значения  $P_{\text{п. нас.}}$  и  $P_{\text{п.}}$  рассчитывались, значения  $x_{\text{нас}}$ ,  $x$  находятся по диаграмме Рамзина.

## Критерий Нуссельта

$$Nu_D = \frac{\beta \cdot d_3}{D},$$

где  $\beta$  - коэффициент массоотдачи, м/с;  $d_3$  - эквивалентный диаметр частиц высушиваемого материала, м;  $D$  - коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;

$$D = D_0 \cdot \frac{P_0}{P_{\text{бар}}} \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^{3/2}.$$

Критериальное уравнение конвективного массообмена [3]:

$$Nu' = 2 + A_1 Re^{n_1} (Pr')^{0,33} Gu^{0,135}.$$

Результаты расчётов представлены табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчётов

Поз.	$W_{\text{пл}}$ , м/с	$W_{\text{н}}^3$ , кг	$W_{\text{к}} \cdot 10^3$ , кг	$\beta$ , м/с	$D \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	Nu'
1	3,0	0,1	0,167	0,0489	28,97	0,466
2	4,0	0,1	0,3	0,0425	29,894	0,393
3	5,0	0,1	1,5	0,0465	28,65	0,448
4	6,0	0,1	1,267	0,0333	30,80	0,299

### Выводы:

1. Количество влаги в песке в процессе сушки в прямоточном циклоне при одном проходе через циклон уменьшается в 6...9 раз и не превышает 1,633 % при начальной влажности, равной 10,0 %.

2. Коэффициенты массоотдачи  $\beta$  при сушке влажного материала в одном циклоне уменьшаются при увеличении  $W_{\text{пл}}$ .

3. Необходимо повысить температуру сушильного агента, так как на входе в циклон она не превышала 75 °С.

Исследования показали, что возможно дополнительно сушить влажный песок низкопотенциальным теплом дымовых газов производства строительных материалов.

### Библиографический список

1. Замураев А.Е., Зимин А.И., Катаев А.В., Давыдов С.Я. Активизация процесса обучения при выполнении лабораторного практикума // Активные методы обучения и объективизация контроля студентов. Екатеринбург: УПИ, 1999. С. 13.
2. Захаров А.Ю., Фоминых К.В., Замураев А.Е., Шишкин С.Ф., Дзюзер В.Я. Исследования по сушке полевого шпата // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сб. материалов Всероссийской студенческой олимпиады 16-19 ноября 2009 г., научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых. 14-18 декабря 2009 г. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. С. 93-96.
3. Муштаев В.И. [и др.] Сушка в условиях пневмотранспорта. М.: Химия. 1984. 232 с.



## ПОЛУЧЕНИЕ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

*Ашуров О.Т., Гаикова В.И.  
УрФУ, ashurov.oybek@mail.ru*

Республика Узбекистан (РУз) занимает четвертое место в мире по запасам золота, седьмое по добыче урана. В этой республике уран добывается по методу подземного выщелачивания, а для процесса выщелачивания необходима серная кислота. На гидрометаллургических заводах используют серную кислоту для отделения золота от цинка. Золотосодержащую руду промывают серной кислотой и получают золото, имеющее 99,99 % мас. Поэтому построено сернокислотное производство с мощностью 500 тыс. т/год на территории РУз.

Серную кислоту получают из различных видов сырья: из серного колчедана (35 %), из серы (46 %), из отходящих газов цветной металлургии (15 %) и из сероводорода (4 %). Наблюдается тенденция увеличения производства серной кислоты из серы.

Гидрометаллургические заводы и месторождения урана в основном находятся на территории Навоийнской области, для уменьшения транспортных расходов построено сернокислотное производство на территории этой области в окрестности города Учкудука, так как большинство заводов расположено недалеко от этого города. В Кашкадарьенской области находится «Мубарекский газоперерабатывающий завод», на котором при очистке кислого газа получают техническую серу как побочный продукт. Производительность газоперерабатывающего завода по сере в год 220 тыс. т. Для получения серной кислоты 500 тыс. т в год требуется 165 тыс. т серы. Расстояние между Учкудуком и Мубарекком около 500 км.

Способы получения серной кислоты из серы различаются видами аппаратов, интенсивными параметрами, видами продукта (олеум, моногидрат, контактная серная кислота 94 % мас.) и видами катализатора (ванадиевый, платиновый).

Наиболее эффективным является контактный способ производства серной кислоты под давлением, так как скорость окисления  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  будет расти с увеличением давления. Поэтому в РУз получают серную кислоту методом ДК/ДА (двойное контактирование/двойная абсорбция) под давлением, используя пятислойный контактный аппарат, в пятислойном контактном аппарате степень контактирования доходит до 99,7 %. Этот метод позволяет не очищать отходящие газы, так как в них концентрация вредных веществ не превышает ПДК (предельная допустимая концентрация). Технологическая схема приведена на рисунке. На территории РУз высокая потребность в контактной серной кислоте, поэтому в данной технологии предусмотрено получение 94,0 % (мас.), а при необходимости можно получать 98,0 % (мас.) серную кислоту.

На рисунке изображена схема производства серной кислоты из серы, которую получают как вторичный продукт при переработке кислого газа.

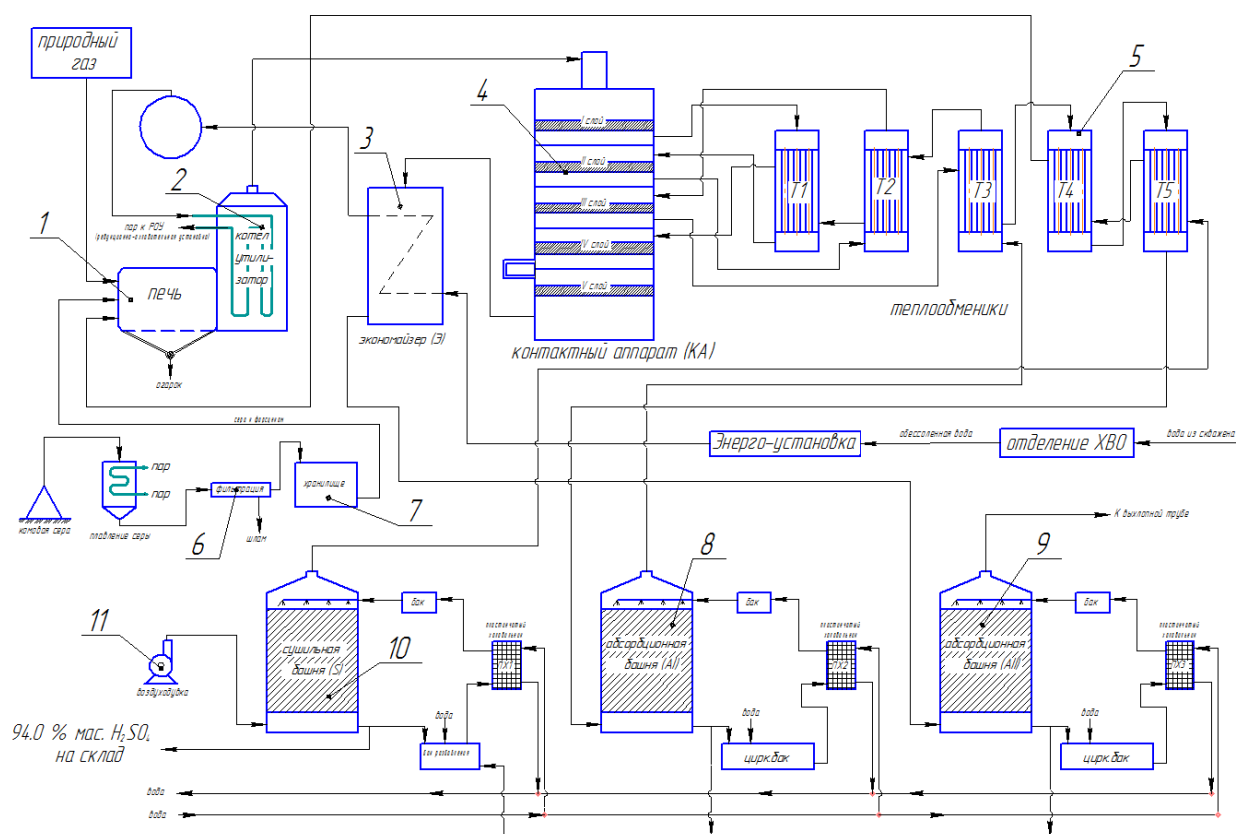


Схема производства серной кислоты из серы по методу ДК/ДА под давлением: 1 – серная печь; 2 – котел-утилизатор; 3 – экономайзер; 4 – контактный аппарат; 5 – теплообменники, 6 – фильтр; 7 – хранилище; 8, 9 – абсорберы; 10 – сушильная башня; 11 – -воздуходувка

Расплавленная сера подается погружным насосом через фильтр 6 в сборник 7, а отсюда вторым погружным насосом – в печь 1, сгорает в токе сухого воздуха. Воздух, предварительно прошедший сушильную башню 10 и теплообменники 5, подается в печь 1 и в контактный аппарат 4. Образующийся при сгорании серы газ при температуре около  $1000^{\circ}$  из печи поступает в котел-утилизатор 2, откуда направляется в первый слой контактной массы. Затем газ проходит первый теплообменник, второй слой контактной массы и второй теплообменник и далее последовательно поступает в третий слой. После третьего слоя газ направляется в абсорбер 8, затем оставшийся газ нагревается в теплообменниках и поступает в четвертый слой контактного аппарата 4, газ проходит четвертый и пятый слои контактной массы. Газ, выходящий из контактного аппарата, охлаждается в экономайзере и направляется в абсорбер 9. Полученная серная кислота из абсорберов направляется в сушильную башню 10 для высушивания влажного воздуха. После сушильной башни полученную 94 % мас. серую кислоту направляют на склад.

Окисление  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  в обычных условиях протекает крайне медленно. Для ускорения процесса в данной технологии применяют ванадиевый катализатор. Наиболее активным катализатором является платина, однако она вышла из употребления вследствие дороговизны и легкой отравляемости примесями обжигового газа, особенно мышьяком. Ванадиевый катализатор менее активен, чем платиновый, но дешевле и отравляется соединениями мышьяка в несколько

тысяч раз меньше, чем платина; он оказался наиболее рациональным и только он применяется в производстве серной кислоты.

Оптимальные условия осуществления обратимой реакции окисления  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  могут быть найдены при исследовании влияния следующих параметров.

*Температура.* Высокие степени превращения в экзотермических реакциях достигаются при понижении температуры и ведении процесса в изотермическом режиме. При этом нижняя граница температуры определяется рабочими характеристиками катализаторов. Поскольку изотермический режим невозможен в реакторах со стационарным слоем катализатора, процессы проводят в многосекционных аппаратах с промежуточным охлаждением газовой смеси.

*Стехиометрические соотношения.* Увеличение степени превращения может быть достигнуто при применении избыточного количества кислорода, что однако приводит к увеличению размеров установок и капитальных затрат.

Благодаря усовершенствованию контактного способа производства, себестоимость более чистой и высококонцентрированной контактной серной кислоты не велика. В настоящее время свыше 90 % всей кислоты производится контактным способом.

Достоинства производства  $\text{H}_2\text{SO}_4$  по данной технологии:

- использование техногенного сырья;
- нет отходящих газов, требующих обезвреживания;
- используется безотходное ресурсо- и энергосберегающее современное производство.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ НА РАСХОД ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЯМИ**

*Берг И.А.*

*УрФУ, [berg77777@gmail.com](mailto:berg77777@gmail.com)*

Проблемы ресурсосбережения тесно связаны с проблемой защиты окружающей среды, так как продукты сгорания топлива загрязняют окружающую среду и являются опасными для здоровья человека, следовательно, решая проблему сбережения топлива, мы частично решаем и проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды.

Рассмотрим один из наиболее популярных и дорогих видов топлива – бензин. Десятки миллионов автомобилей в одной только России сжигают гигантские объёмы этого топлива. По данным экологов, почти 90 % загрязнения воздуха в городах происходит по причине выбросов в атмосферу выхлопов автомобильного транспорта. И это не удивительно, ведь за последние 20 лет количество автомобилей в городах увеличилось в 5–6 раз. Например, в Москве на одну тысячу жителей приходится 350 автомобилей, а в Нью-Йорке – 910 автомобилей [1]. Эти цифры наглядно показывают, значимость экономии топлива. От чего же увеличивается расход топлива?

Причин повышенного расхода топлива много – неправильно отрегулированные или устаревшие двигатели, перегруженный городской трафик, низкий

уровень организации дорожных коммуникаций, плохое качество дорожного покрытия.

Рассмотрим последний аспект: насколько плохое качество дорожного покрытия влияет на увеличение расхода топлива?

Необходимость преодолевать неровности на дороге, во-первых, сама по себе провоцирует неизбежное увеличение расхода топлива, а во-вторых, способствует образованию дорожных пробок и заторов, что увеличивает расход топлива еще больше. Для понимания остроты проблемы смоделируем простейший случай, когда расход топлива увеличивается только в связи с преодолением собственно неровности на дороге.

Представим, что по дороге движется автомобиль и встречает на своём пути неровность – привычную всем яму. Такую, которую нельзя объехать, а можно только переехать, например, занимающую всю ширину проезжей части. В этом случае необходимо, чтобы автомобиль затормозил, проехал эту яму на более низкой скорости, а затем разогнался до своей первоначальной скорости.

В результате торможения автомобиль теряет кинетическую энергию, и, чтобы набрать её снова, разгоняется, сжигая лишнее топливо (соответственно выделяя большее количество выхлопных газов). Оценим количество излишне затраченного при этом топлива.

Предположим, что на одной из оживленных магистралей Екатеринбурга – ул. Малышева – образовалась неровность такого типа, и рассчитаем количество топлива, которое потратилось на разгон после проезда этой неровности.

КПД автомобиля может быть выражен как отношение полезной работы к затраченной, причём полезной работой в нашем случае является изменение кинетической энергии автомобиля (согласно теореме о кинетической энергии), а затраченная – это теплота, выделившаяся при сгорании этого дополнительно затраченного топлива, т. е. произведение удельной теплоты сгорания на массу топлива. Отсюда выражение для нахождения массы дополнительно затраченного

на разгон топлива примет вид:  $m_t = \frac{\frac{m_a \cdot V'^2}{2} - \frac{m_a \cdot V^2}{2}}{\eta \cdot Q_n^p}$ , где  $m_a$  – это масса автомобиля,  $V$  – это начальная скорость автомобиля,  $V'$  – конечная скорость автомобиля,  $m_t$  – масса сгоревшего топлива,  $\eta$  – КПД двигателя,  $Q_n^p$  – удельная теплота сгорания бензина.

КПД двигателя внутреннего сгорания автомобиля – величина непостоянная, находящаяся в зависимости от режима его работы. В данном случае следует использовать значение КПД двигателя при разгоне (увеличении частоты вращения двигателя), которое несколько меньше значения, чем при движении автомобиля с постоянной частотой вращения двигателя. Скорость, до которой будет разгоняться автомобиль, – это средняя скорость потока автомобилей в городе – от 45 км/ч до 55 км/ч. Удельная теплота сгорания бензина – от 44000 кДж/кг до 46000 кДж/кг [2].

Можно заметить, что в этом случае количество израсходованного на разгон бензина будет зависеть от массы автомобиля и от скорости, с которой он

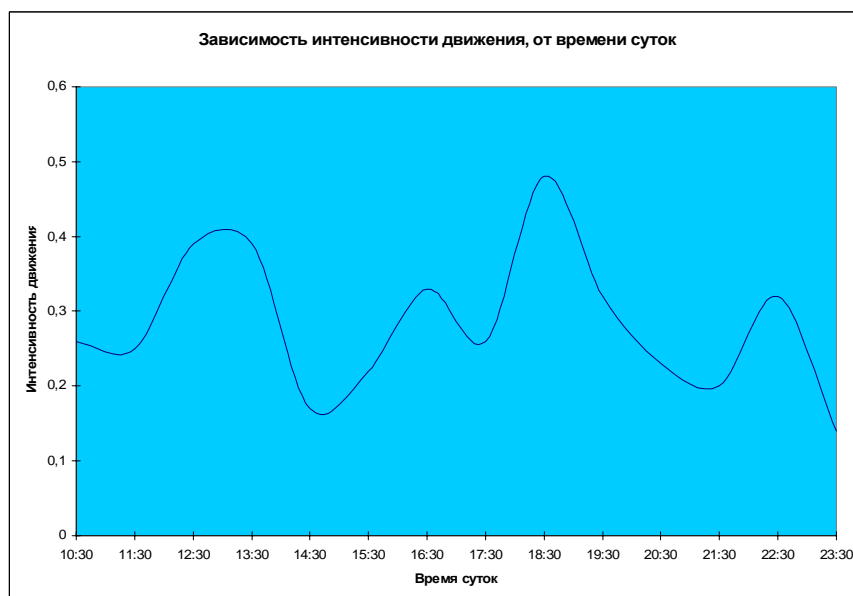
может проехать неровность. Все легковые автомобили – участники дорожного движения были условно разделены на несколько групп в зависимости от их массы (в скобках приводится соответствующее обозначение класса автомобиля по европейской системе):

- лёгкие (А класс) – от 800 до 1100 кг,
- средние (В и С классы) – от 1100 до 1500 кг,
- тяжёлые (D и E классы) – от 1500 до 2000 кг,
- джипы (полноприводные внедорожники и кроссоверы) – от 1950 до 2450 кг.

Экспериментально было установлено, что легковые автомобили могут проехать неровность на скорости 15-25 км/ч, а автомобиль класса «джип» проедет такую яму на скорости 25-35 км/ч благодаря увеличенному клиренсу и специальной конструкции подвески.

По приведенному выше выражению были рассчитаны значения массы топлива для каждого выделенного класса автомобилей, т. е. для четырёх разных случаев.

Для того чтобы найти полное количество излишне сгораемого топлива, необходимо знать количество автомобилей, проезжающих экспериментальный участок за единицу времени, а также процентное соотношение классов проезжающих автомобилей. Исходя из предположения, что интенсивность дорожного движения (количество машин, проезжающих по улице за 1 секунду) в течение каждого часа постоянна, экспериментально были найдены значения интенсивности движения для каждого часа, а также процентное распределение автомобилей по классам. В данном эксперименте учитывались автомобили, движущиеся в одном направлении; грузовой общественный транспорт не учитывался.



Эксперимент показал, что за время его проведения проехало  $14328 \pm 1211$  машин. Так как распределение автомобилей по условным классам учитывалось заранее, было рассчитано количество излишне израсходованного топлива. Учитывая плотность бензина [2], получилось, что в

анализируемой ситуации за день проехавшими машинами было сожжено  $152 \pm 36$  л «лишнего» бензина.

Необходимо отметить, что нами был рассмотрен самый простой случай, связанный только с преодолением неровности на дороге, фактически же при

напряженном городском дорожном движении из-за такой неровности на дороге, как правило, образуется пробка, что еще более увеличивает расход топлива.

Следовательно, совершенно очевидно, что качество дорожного покрытия существенно влияет на увеличение расхода топлива в каждом отдельном случае необходимости преодолевать неровность на дороге. Если же рассматривать более крупную систему (целая улица или город), то показатели излишнего расхода топлива в городе будут достигать сотен тысяч т в год. Следовательно, улучшение качества дорожного покрытия является приоритетной задачей как ресурсосбережения, так и охраны окружающей среды.

*Библиографический список*

1. За 20 лет количество автомобилей в городах России выросло в 5–6 раз: Интервью руководителя НИИ транспорта и дорожного хозяйства Михаила Блинкина. 8 июня 2012. [Электронный ресурс] URL: <http://www.moigorod.ru/news/details.asp?rnd=2x2ХКА&n=2146399373>
2. Кухлинг Х. Физические величины и единицы измерения / под ред. Е.М. Лейкина, М., 1980.

## **МАЛОЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗОБЖИГОВОГО ЗОЛЬНОГО ГРАВИЯ ДЛЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ БЕТОНОВ**

*Борзунова Д.О., Фомина И. В., Капустин Ф. Л.  
УРФУ*

Проблема рационального использования цемента в строительных материалах и изделиях может быть решена с помощью разработки и применения композиционных смешанных вяжущих, а также совершенствования технологических приемов, обеспечивающих требуемые эксплуатационные свойства изделий на их основе. В России и за рубежом разработаны эффективные малоцементные составы с использованием техногенных продуктов, в том числе металлургических шлаков, горных пород, золы-уноса ТЭС и др.

В производстве портландцемента используется зола-уноса в количестве до 15–20 %, а в пуццолановом цементе — от 21 до 35 %. Эффективно применение топливных зол в составе различных видов специальных цементов, например, в производстве расширяющегося цемента, в котором количество портландцемента составляет до 55 %, золы-уноса — до 27 %, извести и сиштофа — до 18 %. Существенный эффект наблюдается при совместном введении в вяжущие низкой водопотребности золы-унос и добавок-суперпластификаторов [1].

Разработка комплексных технологических приемов, позволяющих модифицировать структуру золоцементного камня на основе применения смешанных вяжущих, наполнителей техногенного происхождения, химических и минеральных добавок, позволяет уменьшить расход цемента, улучшить его физико-механические свойства. В связи с этим актуальной проблемой является научно-техническое обоснование методов совершенствования технологии получения золоцементного камня на основе применения малоцементных композиций и экспериментальная проверка их эффективности.

Цель работы заключалась в разработке состава и исследовании прочностных свойств малоцементной композиции на основе золы-уноса Рефтинской ГРЭС.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- установить влияние химических и минеральных добавок на формирование прочностных характеристик золоцементного камня;
- подобрать оптимальный состав малоцементной композиции для получения безобжигового зольного гравия (*БЗГ*).

В работе использовали следующие материалы: зола-уноса от сжигания каменного угля Экибастузского бассейна на Рефтинской ГРЭС (*ЗУ*); портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (*ПЦ*) производства ОАО «Сухоложскцемент» (г. Сухой Лог); доменный гранулированный шлак ОАО «Мечел» (*ДГШ*), отсев дробления горнблендита ОАО «Первоуральское рудоуправление» (*ГБ*), гранулированный медеплавильный шлак ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» (*ГМШ*), известь строительная (*Из*), химическая добавка  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; суперпластификаторы Ergomix 6000 (*Erg*) и С-3.

Методика испытаний золоцементного камня была составлена таким образом, чтобы выявить влияние количества минеральных и химических добавок на формирование прочностных характеристик зольного камня, а также возможность использования малоцементной композиции для получения безобжигового зольного гравия.

Для производства *БЗГ* подбирали составы смесей с постоянным количеством *ПЦ* и разным содержанием *ЗУ*, *ДГШ*, *ГМШ* и химических добавок. В таблице приведены результаты испытаний образцов после тепловлажностной обработки (*ТВО*), полученных из зольного теста содержащего минеральные и химические добавки, такие как *ГМШ*, *ГБ*, *ДГШ*, известь гашеная и негашеная, а также химическими добавками  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , С-3 и Ergomix 6000.

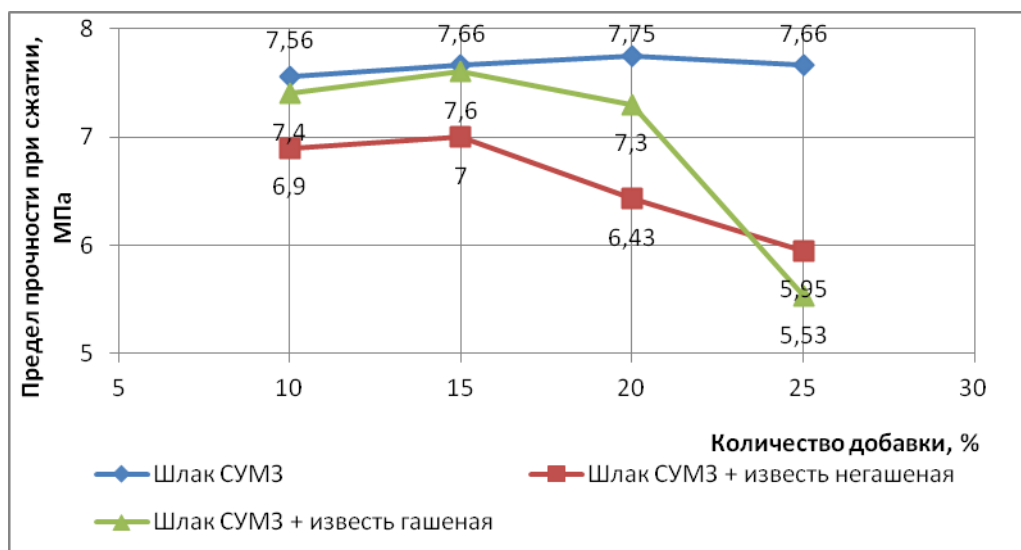
Установлено, что наиболее эффективной добавкой является *ГМШ*. Наибольшую плотность показывают составы с содержанием 25 % шлака и 7 % извести, немного ниже плотность у составов с добавлением 25 % *ГБ*, самая низкая плотность у состава без минеральной добавки. Что касается значений предела прочности при сжатии, то наилучшие результаты получены у составов с добавлением *ГМШ* (5–25 %) и сульфата натрия (2 %). Именно этот состав рекомендуется для производства *БЗГ*.

Химические добавки такие как С-3 и Ergomix 6000 отрицательно влияют на прочностные характеристики золоцементного камня, так как не содержат щелочных и сульфатсодержащих продуктов. Для топливных шлаков и зол так же, как для металлургических, активизация достигается введением извести и щелочных соединений (щелочная активизация) и сульфатсодержащих продуктов (сульфатная активизация) [1].

Показатели прочности образцов при сжатии после ТВО

№	Состав										В/Ц	Плотность зольного камня, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа
	ПЦ	ЗУ	ГМШ	ГД Ш	ГБ	Известь		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Erg	С-3			
						гашеная	негашеная						
1	20	80	-	-	-	-	-	2	-	-	45	1580	6,61
2	20	75	5	-	-	-	-	2	-	-	43	1620	7,23
3	20	70	10	-	-	-	-	2	-	-	42	1641	7,56
4	20	65	15	-	-	-	-	2	-	-	42	1678	7,66
5	20	60	20	-	-	-	-	2	-	-	42	1685	7,75
6	20	55	25	-	-	-	-	2	-	-	40	1685	7,66
7	20	63	10	-	-	-	7	2	-	-	43	1680	6,90
8	20	58	15	-	-	-	7	2	-	-	43	1688	7,00
9	20	53	20	-	-	-	7	2	-	-	43	1704	6,43
10	20	48	25	-	-	-	7	2	-	-	42	1750	5,95
11	20	63	10	-	-	7	-	2	-	-	41	1646	7,40
12	20	58	15	-	-	7	-	2	-	-	42	1692	7,60
13	20	53	20	-	-	7	-	2	-	-	42	1773	7,30
14	20	48	25	-	-	7	-	2	-	-	40	1812	5,53
15	20	65	-	-	15	-	-	2	-	-	40	1630	5,82
16	20	58	-	-	15	7	-	2	-	-	38	1633	6,38
17	20	58	-	15	-	7	-	2	-	-	38	1676	6,62
18	20	55	-	-	25	-	-	2	-	-	40	1670	5,07
19	20	55	-	-	25	-	-	-	-	2	32	1625	0,52
20	20	55	-	-	25	-	-	2	-	2	35	1647	1,00
21	20	30	-	-	50	-	-	2	-	-	36	1770	5,93
22	20	60	20	-	-	-	-	-	1	-	38	1659	2,26





Влияние минеральных добавок на прочность золоцементного камня  
(содержание ПЦ составляет 20 % от массы всего состава)

Минеральные добавки оказывают положительное влияние на формирование структуры золоцементного камня (рисунок). Наиболее эффективной минеральной добавкой является медеплавильный шлак в количестве 20 мас. % сырьевой смеси, он уплотняет структуру золоцементного камня и тем самым увеличивает его прочность. Наиболее эффективной химической добавкой является сульфат натрия в количестве 2 мас. % смеси. Сульфат натрия применяется в качестве добавки ускорителя схватывания и твердения золоцементного камня. Для грануляции рекомендуется состав: 20 % ПЦ + 60 % ЗУ + 20 % ГМШ + 2 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

#### Выводы

Разработан состав из малоцементной композиции, включающий в себя золу-уноса, портландцемент, медеплавильный шлак цветной металлургии, применение которого обеспечивает получение безобжигового зольного гравия с прочностью 5 МПа.

Получены зависимости, устанавливающие взаимосвязь влияние минеральных добавок на прочность золоцементного камня. Минеральные добавки оказывают положительное влияние на формирование структуры золоцементного камня по сравнению с химическими добавками. Наиболее эффективной минеральной добавкой является медеплавильный шлак в количестве 20 мас. % сырьевой смеси и известь в количестве 7 %.

#### Библиографический список

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин // учебно-справочное пособие. Феникс, 2007. 368 с. (Строительство).

## ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСАДКОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Валенцева Т.А., Царев Н.С.  
УрФУ, [tatiana\\_vta@mail.ru](mailto:tatiana_vta@mail.ru)

Для технологических процессов предприятий машиностроения, металлообработки, цветной и черной металлургии и других отраслей промышленности требуется значительное количество технической воды, которая после использования загрязняется. Обычно ее подвергают очистке различными методами и используют повторно. В результате обработки воды образуются осадки, названные нами «смешанные», потому что содержат в своем составе гидроксиды металлов, минеральные и органические и другие компоненты.

Смешанные осадки представляют собой дисперсную систему, состоящую из мелкодисперсных и сильнообводненных хлопьевидных частиц, органических веществ, коллоидных растворов и других компонентов [1].

Для разработки технологий кондиционирования, обезвоживания и утилизации рассматриваемых осадков необходима система комплексной оценки их технологических и физико-химических свойств. Наиболее распространенным является методологический подход академика С.В. Яковлева, который предложил характеристики осадков разделить на три группы:

- технологические, характеризующие количество образующихся осадков, способность осадков к сгущению, обезвоживанию, транспортировке, сушке;
- утилизационные, характеризующие пригодность осадков к утилизации;
- токсикологические, характеризующие возможность безопасного складирования осадков на полигонах промышленных отходов.

Формирование осадков с заданными свойствами начинается с выбора тех методов очистки, которые обеспечивают возможность утилизации или безопасного складирования осадков, сокращение затрат на их обезвоживание и сушку. Комплексная оценка свойств осадков является весьма трудоемкой задачей, что объясняется многообразием их свойств.

Свойства осадков определяются, прежде всего, составом входящих в них компонентов. Условно осадки можно разделить на три категории: минеральные, органические и смешанные. Осадки сточных вод всегда представляют собой достаточно сложную смесь разнообразных веществ, поэтому имеет смысл говорить о преимущественном составе компонентов. Огромное значение имеет фазово-дисперсный состав веществ осадка. Поскольку в практике часто образуются сильнообводненные осадки, основной операцией их обработки является обезвоживание. Исходя из этого, осадки условно разделяют на три вида по их водоотдаче: хорошо-, средне- и труднофильтруемые.

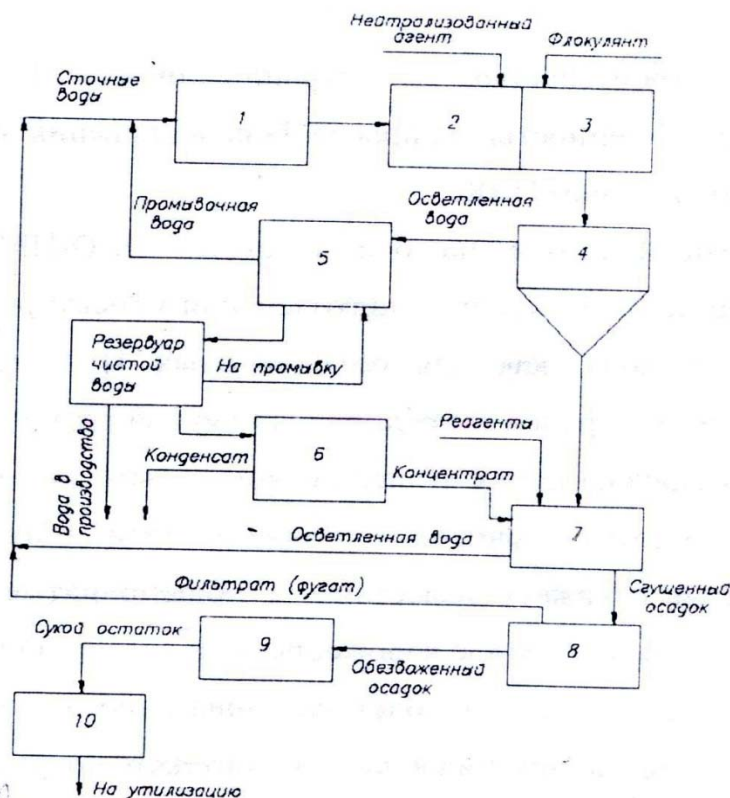
Необходимо обращать особое внимание на труднофильтруемые осадки, к которым относят рассматриваемые смешанные, поскольку практически любой (даже так называемый «типовой») осадок требует индивидуального подхода: поиска метода кондиционирования, подбора аппарата для обезвоживания и определения технологических параметров этого процесса.

Следует отметить, что в теории и практике обработки осадков сточных вод часто применяют термин «структура осадка», который включает в себя

данные о макро- и микроструктуре. Первая из них характеризует только фазовый состав и дисперсность осадков. К микроструктуре относятся величина параметров кристаллической решетки гидроксидов и самый характерный элемент их слоистого строения – расстояние между гидроксидными группами соседних (прилегающих) тройных слоев.

В свою очередь, содержание в осадках неструктурированной воды и микроструктура гидроксидов определяют кинетику и механизм старения осадков, скорость растворения их в кислотах, щелочах и другие свойства.

На рисунке представлена технологическая схема обработки агрессивных промышленных стоков, включающая в себя узел усреднения-накопления стока (1) с использованием перемешивания воздухом; узел реагентной (химической, физико-химической, физической, биотехнологической) обработки стока (2) с разрушением токсичных и выделением в виде взвеси агрессивных примесей; узел хлопьеобразования (3) для интенсификации процесса удаления взвеси из стока; узел осветления методом отстаивания обработанного стока в тонкослойных отстойниках (4); узел доочистки осветленной воды на зернистых фильтрах (5) с использованием местных фильтрующих материалов – отходов производства типа шлаков. При необходимости получения чистой воды (дистиллята) доочищенную воду направляют в выпарную установку (6), а получающийся концентрат – на утилизацию, образующийся при отстаивании осадок – в узел кондиционирования (7), где его при необходимости дополнительно обрабатывают реагентами или нагревом. Подготовленный осадок поступает в узел механического обезвоживания (8).



Обезвоженный осадок подают в узел термической обработки (9) – сушилку, гранулятор, сборник (10), а затем при необходимости расфасовывают и отправляют на утилизацию [2].

Сооружения и аппараты для обработки подобных осадков являются наиболее технологически сложными и дорогостоящими элементами очистных сооружений.

«Типовая» блок-схема технологии обработки агрессивных сточных вод и их осадков

Представленная технологическая схема является основой для разработки замкнутой системы водного хозяйства промышленного предприятия, на кото-

ром образуются сточные воды подобного состава. В подобных технологических схемах к наиболее важным (определяющим) узлам относят узел обессоливания (установки обратного осмоса и выпарные аппараты) и узел обработки осадков (установки реагентной обработки, сгущения, механического обезвоживания и сушки).

Данная технология позволяет:

1. Повторно использовать очищенную воду в системе производственного водоснабжения предприятия.
2. Подготовить к утилизации образующиеся осадки. Рассматриваемые отходы могут быть утилизированы, например, в качестве добавки к исходному сырью при производстве строительных материалов, уничтожены или направлены на складирование.

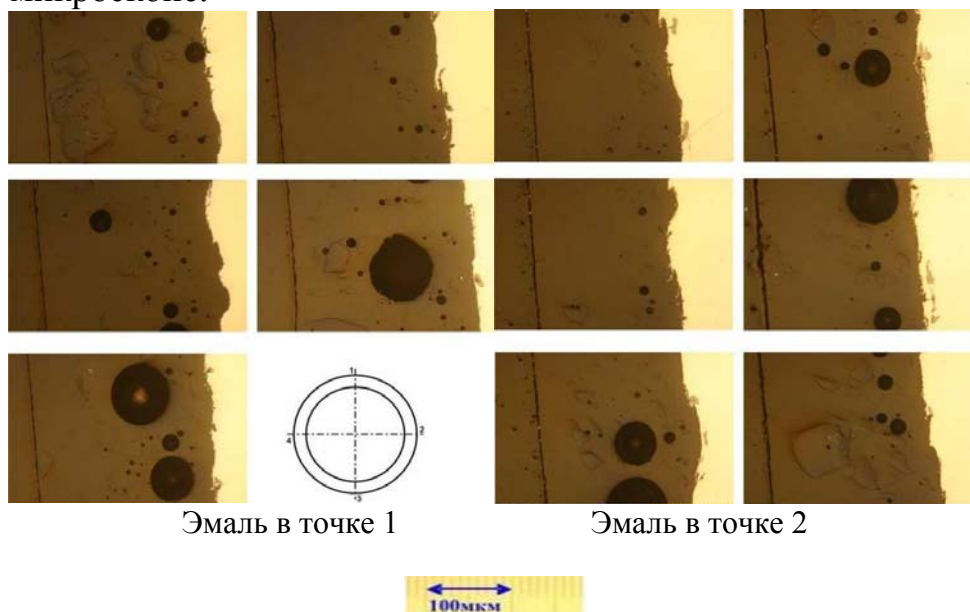
#### *Библиографический список*

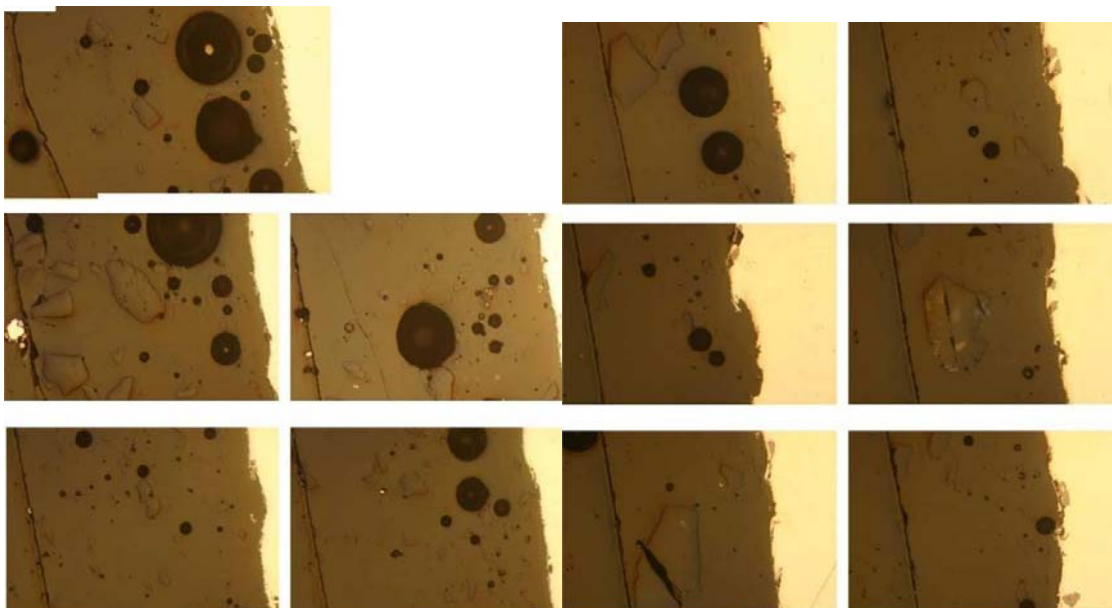
1. Яковлев С.В., Волков Л.С., Воронов Ю.В. Обработка и утилизация осадков производственных сточных вод. М.: Химия, 1999. 448 с.
2. Аксенов В.И. [и др.] Опыт и перспективы создания замкнутых систем водного хозяйства промышленных предприятий // Химическая техника. 2010. № 12. С. 16-19.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗАЩИТНЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЭМАЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ТРУБОПРОВОДОВ**

*Ворошилова И.Г., Лазуткина О.Р.  
УрФУ, Lor5454@mail.ru*

Исследование характеристик покрытия производилось на продольных образцах, вырезанных из эмалированной трубы. Для сравнения толщины и качества эмалированного покрытия с каждой трубы было изготовлено по четыре образца шлифа по кругу по точкам 1-4 на трубу. Образцы были отсняты на оптическом микроскопе.





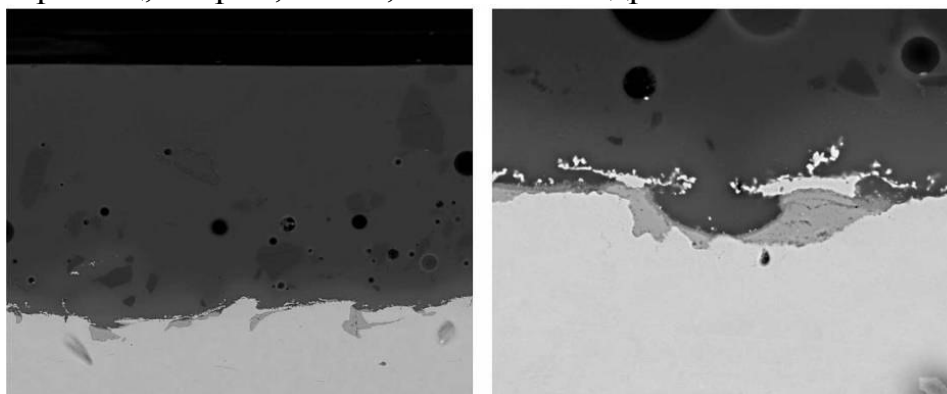
Эмаль в точке 3

Эмаль в точке 4

Толщина эмалированного слоя составляет около 0,3 мм для данного образца. В эмали выявлены множественные поры различного диаметра. Максимальный диаметр пор составляет 150 мкм, что существенно меньше общей толщины эмалированного слоя. Следует отметить неравномерное распределение пор по периметру образца. Кроме пор, в структуре эмали просматриваются включения некой фазы угловатой формы. Энергодисперсионный анализ показал, что это включения оксида кремния, являющиеся, по-видимому, не растворившимися компонентами фритты.

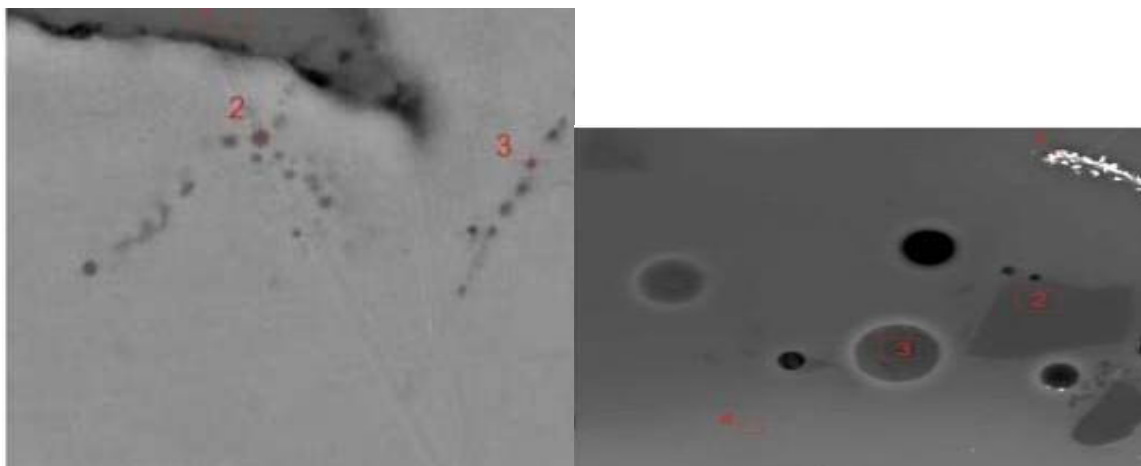
На электронном микроскопе, с использованием энергодисперсионного анализатора, провели исследование внешнего вида и химического состава эмалированного слоя, а также микроструктуры металла по зонам (наружная, центральная и внутренняя поверхности). Исследование границы раздела металл-эмаль выявило наличие в приповерхностных слоях следов окарины и мелких плен, не полностью удаленных при абразивной обработке поверхности металла. Их наличие может ухудшить адгезию эмали к металлу. Граница металл-эмаль вдали от перечисленных выше несовершенств имеет развитую структуру, образующуюся при взаимодействии горячей эмали со сталью и частичного растворения стали в эмали.

Энергодисперсионный анализ показал, что в состав эмали входит железо, кремний, марганец, натрий, калий, алюминий и др.



Труба с эмалевым покрытием





Внутренняя поверхность трубы

Таблица 1

Химический состав поверхности трубы после дробеструйной обработки  
перед эмалированием в точках 1, 2, 3

Точка №/элемент	Мас. %				
	C	O	Si	Mn	Fe
1	10,2	24,4	0,5	1,2	64
2	14	2,5	0,3	1,3	82
3	14,5	2,1	0,25	1,2	82,3

Таблица 2

Химический состав эмалированной трубы в точках 1, 2, 3

Точка №/элемент	Мас. %											
	C	O	Si	Ca	Ti	Fe	Co	Cu	Na	Al	Mn	K
1	13.0	10.0	4.2	0.5	0.5	37.0	12.0	24.0				
2	12.0	50.0	40.0									
3	16.0	39.0	21.25	3.0	4.0	8.0			5.2	1.0	2.0	1.4
4		42.0	24.0	3.0	2.0	18.0			8.6	1.0	1.5	0.6

Эмалированное покрытие на трубах, как видно по результатам проведенного исследования, содержит несовершенства в виде сферических пор и включений оксида кремния с острыми гранями, однако размеры отдельных несовершенств существенно меньше общей толщины эмалированного слоя, который не содержит сквозных пор и трещин и надежно защищает металл от взаимодействия с внешней средой.

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА В СИСТЕМЕ ХИМИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ

Горбунёва Е.С., Понаморева М.М., Мурзадеров А.В.

Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И.Носова  
ponamorevmikhail@mail.ru; murzaderov1994@mail.ru; kartavzw@mail.ru<sup>1</sup>

В российской энергетике и теплотехнологиях широко применяется природный газ. Помимо общих потребностей энергосбережения, природный газ необ-

<sup>1</sup> Работа выполнена под руководством Картавцева С.В.

ходимо экономить еще и потому, что он поставляется монопольным объединением, которое также монопольно устанавливает и цены на него. Если в отношении электроэнергии в принципе возможна собственная генерация электроэнергии на предприятии, как противовес политике сбытовых компаний, то в отношении природного газа собственная генерация его исключена.

Это определяет особую, усиленную, двойную актуальность *энергосбережения* в системах, потребляющих природный газ.

В работе изучались возможности энергосбережения природного газа путем химической регенерации на базе его паровой конверсии.

Особое значение энергоресурсосбережение природного газа имеет для высокотемпературных установок (ВТУ) – печей, реакторов и других установок.

С повышением температуры отходящих продуктов сгорания соответственно снижается и энергоэффективность ВТУ. Средствами повышения эффективности в этих условиях являются подогрев компонентов горения воздуха и топлива. В данном случае подогрев ПГ не дает большого эффекта и ограничен температурами ниже 600 °С.

В случаях, когда температура отходящих газов ВТУ превышает 800 °С, открываются новые возможности повышения эффективности использования природного газа и снижения его расхода. Таких случаев достаточно много.

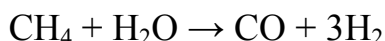
Тепловые параметры высокотемпературных теплотехнологических установок приведены в таблице [1].

Тип установки	Температура дымовых газов, °С
Сталеплавильные печи	1550-1600
Нагревательные колодцы	1250-1350
Кузнечные камерные печи	1100-1200
Методические нагревательные печи	900-1100
Стекловаренные печи	1000-1100

Одним из эффективных способов решения этой проблемы является химическая регенерация теплоты на базе пароводяной конверсии природного газа. При этом ПГ смешивается в равных объемах с водяным паром и подвергается конверсии на температурном уровне около 800 °С.

Химическая регенерация позволяет достигать практически полной регенерации теплоты отходящих дымовых газов [2].

Химическая регенерация рассматривается на примере паровой конверсии метана [3]:



Суммарный эндотермический эффект этой реакции составляет 9201 кДж/м<sup>3</sup> ПГ. Кроме того необходимо учитывать затраты на получения водяного пара.

Таким образом, в системе использования теплоты отходящих газов появляются два новых теплообменника: реактор паровой конверсии и котел-утилизатор (рисунки).

Конкретные возможности энергосбережения в системе химической регенерации природного газа определяются тепловыми балансами установок с учетом температурных ограничений теплообмена. Один из вариантов расчета приводится ниже.

В высокотемпературную теплотехнологическую установку подаётся смесь конвертированного газа и воздуха, на выходе получаются дымовые газы с температурой около 1100 °С. Первоначальный объем природного газа составлял 1 м<sup>3</sup>, после процесса конверсии природного газа объем продуктов конверсии составил 3 м<sup>3</sup>. Для сжигания конвертированного газа требуется 10,54 м<sup>3</sup> воздуха. В результате получим 12,54 м<sup>3</sup> продуктов сгорания.

В реактор паровой конверсии подают природный газ и пар. При температуре продуктов сгорания конвертированного газа 2300 °С теплота составляет 44719,53 кДж. При выходе из высокотемпературной установки отходящие газы имеют теплоту в количестве 19585,48 кДж и температуру 1110 °С. Из нее 11250 кДж идет на реактор паровой конверсии, а оставшаяся теплота идет на рекуператор и котел-утилизатор.

Для рекуператора требуется 4293 кДж. На остаточной теплоте после РПК возможно получить пар объемом 0,968 м<sup>3</sup> в котле-утилизаторе, что потребует 2223 кДж.

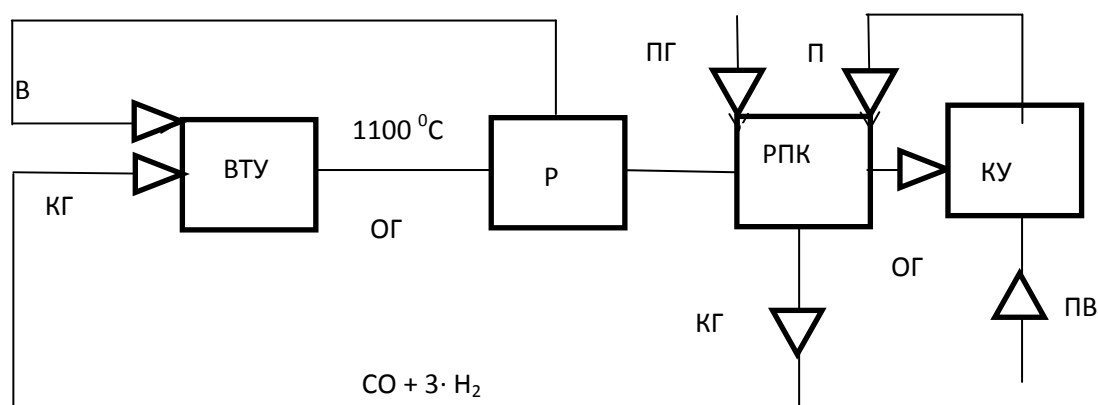


Схема ВТУ с ТХР теплоты отходящих дымовых газов за счет паровой конверсии метана: ВТУ – высокотемпературная теплотехнологическая установка; РПК – реактор паровой конверсии; ПГ – природный газ; П – пар; ГВ – горячий воздух; КГ – конвертированный газ; ОГ – отходящие газы; Р – рекуператор, КУ – котел утилизатор, ПВ – питательная вода.

Сведение теплового баланса позволяет определить новый, уменьшенный расход природного газа на реализацию того же высокотемпературного процесса. В данном варианте химическая регенерация теоретически позволяет уменьшить расход природного газа до 25,7 %, а практически будет зависеть от качества топлива, совершенства установки и оборудования.

Таким образом, химическая регенерация может на четверть сократить расход природного газа на высокотемпературную установку, что недостижимо обычными подогревами воздуха и топлива.

В условиях монопольного обеспечения природного газа в российской промышленности химическая регенерация может дать очень большой энергосберегающий и одновременно – антимонопольный эффект.



### *Библиографический список*

1. Пашенко Д.И., Никитин М.Н. Термохимическая регенерация теплоты отходящих дымовых газов и её схемные решения // Промышленная энергетика. 2012. № 6. С. 47-50.
2. Полякова М.И., Мамбетова А. Г. Исследование возможностей химической регенерации для экономии топлива в нагревательных печах. Магнитогорск: МГТУ, 2010. С. 214.
3. Ключников А.Д., Перелетов И.И., Бровкин Л.А. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки. М.: Энергоатомиздат, 1989. С. 335.

## **ВЫБОР АЛЬТЕРНАТИВНОГО МАЗУТУ РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ТЭС И КОТЕЛЬНЫХ**

*Горшков Е.И., Жеребчиков Е.Ю., Мельников Д.М., Микула В.А., Левин Е.И.  
УРФУ, tes.urfu@mail.ru*

В настоящее время в энергетике мазут широко используется в качестве резервного топлива на тепловых электрических станциях (ТЭС) и котельных, кроме того, на некоторых котельных он служит основным топливом.

Как известно, в развитых странах до 95 % нефти перерабатывается в товарные фракции (сжиженный газ, керосин, бензин, дизельное топливо). В России в товарные фракции перерабатывается около 60 % от объёма нефти, а 40 % составляют отходы нефтепереработки – мазут. Таким образом, в ближайшем будущем есть вероятность недоступности мазута для использования на ТЭС и котельных. Но даже при существующем положении, использование мазута в качестве основного топлива повышает затраты на топливо в 3 раза по сравнению с природным газом. Затраты на топливо при производстве электрической и тепловой энергий составляют примерно 70 % от всех затрат, т.е. необходимо искать другие решения для топливоснабжения регионов, где ещё используется мазут как основное топливо в котельных.

Использование мазута в качестве резервного топлива также имеет ряд недостатков:

### *1. Потери теплоты на подогрев мазута.*

При использовании мазута в качестве резервного топлива на ТЭС необходимо осуществлять постоянную циркуляцию мазута и поддерживать его температуру на постоянном уровне, подогрев мазута осуществляется паром. Для паровых котельных, работающих только на подогрев сетевой воды (на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения), а таких немало, пар используется только на подогрев мазута и деаэрацию. Поэтому в таких котельных к затратам на непосредственный нагрев мазута добавляются затраты электрической энергии на питательных насосах (обычно работающих с большим перерасходом электроэнергии) и потери теплоты с продувками паровых котлов.

### *2. Затраты на периодическую замену мазута.*

С течением времени из-за неплотностей в нагревательных элементах часть пара попадает в мазут, и он всё больше обводняется, поэтому его периодически необходимо сжигать и покупать новый, на это требуются значительные средства. Кроме того при сжигании мазута в котле для исключения серной коррозии температура уходящих газов поддерживается на более высоком уровне

(по сравнению со сжиганием природного газа) и котел в таком режиме работает с КПД на 3-4 % ниже.

3. *Затраты электроэнергии на приводы насосов, обеспечивающих циркуляцию мазута.*

4. *Затраты на заработную плату работников мазутного хозяйства.*

Взамен мазута возможно применение в качестве резервного топлива: дизельное топливо; сжиженный природный газ (СПГ); сжиженный углеводородный газ (СУГ).

Дизельное топливо – наиболее дорогой вид топлива, цена на которое постоянно растет. Однако для маленьких котельных существует возможность хранения только части необходимого запаса дизельного топлива. При этом устанавливается небольшая емкость (значительно меньшего размера, чем нормативный объем резервного топлива), а на остальной объем заключается договор с нефтебазой, гарантирующий поставку требуемого объема в аварийной ситуации в течение короткого времени. В России уже имеется значительное число котельных, резервное топливное хозяйство которых спроектировано и согласовано по такой схеме.

Нами была выполнена оценка возможности замены резервного топлива котельной с присоединенной тепловой мощностью 40 Гкал/ч с мазута на дизельное (печное) топливо. Оказалось, что имеющейся в котельной емкости для дизельного топлива объемом 15 м<sup>3</sup> хватит при работе на печном топливе более чем на 8 часов. Затраты на имеющееся мазутное хозяйство составляют более 4,5 млн руб./год. Капитальные затраты для этой котельной будут складываться практически только из затрат на выполнение проекта и его согласование.

Таким образом, это решение будет самым дешевым, но область его использования ограничена малыми котельными.

СПГ – это сжиженный метан, но из-за низких температур хранения (–164 °С) применение этого вида топлива в качестве резервного весьма ограничено.

Использование сжиженного углеводородного газа в качестве резервного топлива является предпочтительным. СУГ является смесью пропана и бутана, для его сжигания не требуется замена существующих газо-мазутных горелок, достаточно простой регулировки в газовой линейке или отдельной своей газовой линейки на горелку. Но дополнительно к имеющемуся оборудованию необходимы резервуары и испарители газа.

Испаритель газа резко увеличивает производительность (выход паровой фазы). Испаритель газа – бак под давлением, подогреваемый теплоносителем, который, в свою очередь, нагревается с помощью электроэнергии или от газовой горелки. Поставляются как водяные, так и электрические испарители газа с различной, практически любой необходимой производительностью. Испаритель газа позволяет и зимой использовать летние смеси, цена которых на 20...30 % ниже зимних, и к тому же дающие больше тепла при сгорании (имеющие большую теплоту сгорания).

Единовременные затраты на строительство топливного хозяйства СУГ сопоставимы или существенно ниже, чем при других вариантах, например при

строительстве установки хранения и регазификации сжиженного природного газа или строительстве мазутного хозяйства.

В отличие от природного газа по СУГ мы отстаем от среднеевропейских цен лишь в 1,5 раза. Учитывая, что в связи со вступлением России ВТО декларируется повышение цен на природный газ до мирового уровня, можно предположить, что через некоторое время себестоимость 1 Гкал на СУГ и на природном газе сравняются.

Авторами была выполнена работа по оценке эффективности использования СУГ в качестве резервного топлива для Ново-Свердловской ТЭЦ, мазут здесь является аварийным топливом для 8 паровых котлов БКЗ-320-140 (с газомазутными горелками). Запас мазута составляет 30 тыс. м<sup>3</sup>.

Экономия за счет перехода на СУГ состоит из следующих статей:

1) Исключаются потери теплоты на подогрев мазута. Суммарное нормативное количество теплоты на мазутное хозяйство (рассчитанное в соответствии с РД 153-34.1-09.205-2001) с учетом паровых продувок составило 6364 Гкал/год.

2) Исключаются затраты на обновление мазута. Оценочно ежегодно необходимо сжигать около 6 тыс. т мазута, покупая новый.

3) Полностью исключается расход электроэнергии на привод мазутных насосов – 480 тыс. кВт·ч/год.

4) Штат работников мазутного хозяйства состоит из 5 смен по 4 человека, то есть 20 человек. При использовании СУГ принято сокращение персонала до 4 человек. В результате экономия составит – 3,9 млн руб.

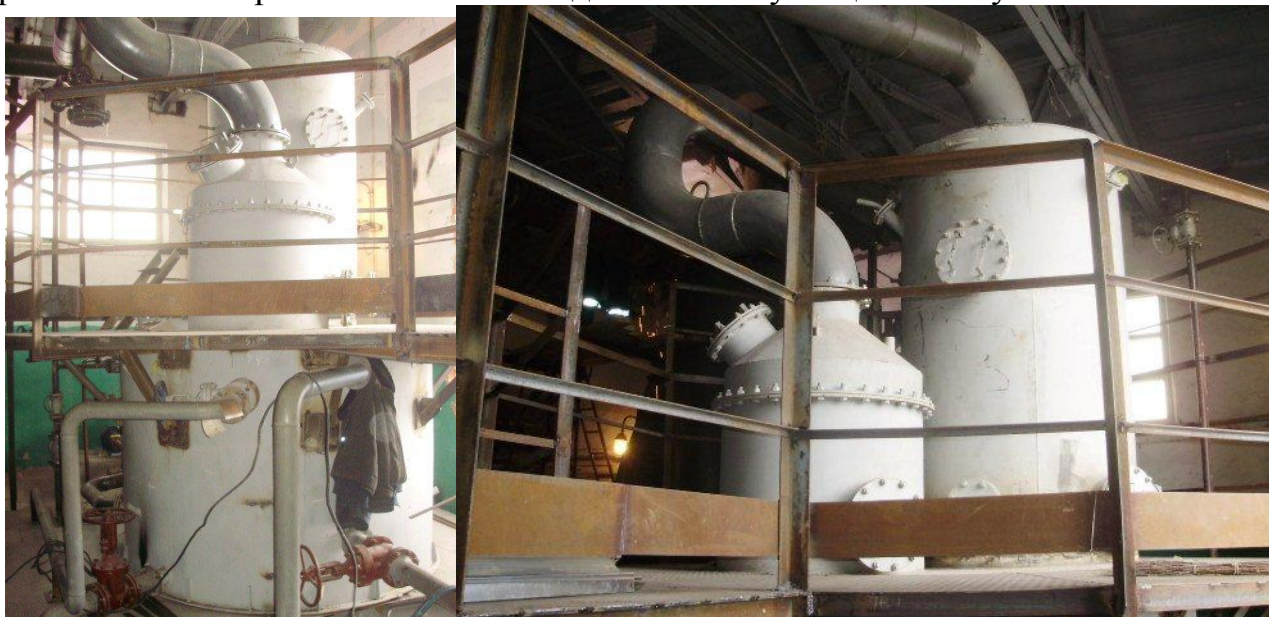
В денежном выражении экономия составила около 70 млн руб./год. Капитальные затраты для строительства хранилища на 22 тыс. м<sup>3</sup> СУГ (необходимый объем для Ново-Свердловской ТЭЦ) составят около 400 млн руб., а простой срок окупаемости – около 6 лет.

## **ГАЗООЧИСТНАЯ УСТАНОВКА С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ**

*Гринёв Д.И., УрФУ  
Кунавин С.А., Салаватский катализаторный завод  
grinyovdi@ya.ru*

Технология получения жидкого стекла на «Салаватском катализаторном заводе» сопровождалась сбросом в атмосферу большого количества водяного пара с примесями капель продукта. Это вызывало потери продукта, загрязнение окружающей рабочей площадки цеха и значительные потери тепла. В связи с этим заводом была поставлена задача в одной установке осуществить технологию возврата тепла и массы, исключив выброс в атмосферу. Научно-производственным предприятием «Машины и аппараты химических технологий» с участием специалистов кафедры «Машины и аппараты химических производств» химико-технологического института ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» была разработана технология, скон-

струировано и изготовлено основное оборудование установки конденсации паро-газового выброса. Установка введена в эксплуатацию в августе 2012 г.



Получение жидкого стекла на данном предприятии осуществляется в герметичных автоклавах температурным растворением силикат-глыбы ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). По окончании загрузки силикат-глыбы в автоклав заливается техническая вода. После этого автоклав герметично отглушается и в него подается сетевой пар. При достижении давления в автоклавах  $5 \text{ кгс/см}^2$  подача пара прекращается. Происходит растворение (разварка) силикат-глыбы в течение нескольких часов. В процессе разварки температура раствора в автоклавах поднимается до соответствия избыточному давлению пара  $7...7,5 \text{ кгс/см}^2$ . После разварки раствор из автоклавов избыточным давлением перекачивается в разбавители открытые на атмосферу сбросной трубой. Попав из зоны избыточного давления и температуры ( $170^\circ\text{C}$ , 7 ати) в разбавители, раствор жидкого стекла становится перегретым, самовскипает за счёт пониженного давления и потенциала теплоты. В процессе сброса потенциала из раствора интенсивно испаряются пары воды, забирая тепло в количестве, соответствующем теплоте парообразования  $2260 \text{ кДж/кг}$ , и тем самым понижая температуру раствора до  $100^\circ\text{C}$ . Также с водяным паром механически уносится раствор жидкого стекла – продукт в виде капель.

Для осуществления замкнутости оборотов тепла и массы была разработана установка комплексной обработки парогазового выброса автоклавов получения силиката натрия. Обрабатываемый парогазовый поток, содержащий капли раствора силиката натрия, первично поступает на сепарацию в циклон, где происходит улавливание большей части взвешенной фазы – капель и брызг. Уловленная жидкость из циклона через гидрозатвор по существующему трубопроводу непрерывно стекает в разбавители. Затем освобождённый от большей части взвеси, парогазовый поток поступает на промывку в скруббер-пароконденсатор. Скруббер в зависимости от выбранного режима работы осуществляет либо полную конденсацию пара и улавливание брызг и тумана, или

осуществляет горячую отмывку раствора силиката натрия из потока водяного пара без его конденсации.

Вспомогательным оборудованием установки является промежуточный бак и теплообменник. Бак предназначен для согласования объёма слива (вывода) из скруббера нагретого циркулирующего раствора и потребления полученного в скруббере горячего раствора в цехе установкой получения жидкого стекла. Теплообменник предназначен для отвода тепла конденсации из циркулирующего раствора потребителями горячей воды других участков цеха.

Применённый промежуточный бак согласовывает требуемое объёмное количество подпитки скруббера холодной свежей технической водой с объёмным количеством потребления горячей воды для заполнения автоклавов, разбавителей и промывки системы.

Как показано расчётами тепловых и массовых балансов, требуемая подпитка скруббера равна текущему замеренному водопотреблению участка. Т.е. сброс тепла можно осуществлять продувкой бака скруббера, а утилизировать тепло в системе участка, направляя продувочную горячую ( $\sim 75^{\circ}\text{C}$ ) воду на водопотребление участка. По времени подпитка скруббера и заполнение системы не согласуются. За счёт того, что холодная вода поступает только в бак скруббера, а водоразбор осуществляется только из промежуточного бака, в скруббер поступает холодная свежая вода, а в систему оборудования участка только горячий слабый раствор жидкого стекла.

Промежуточный теплообменник устанавливается в контур циркуляции скруббера-пароконденсатора для охлаждения циркулирующего раствора. Теплообменник дополнительно выводит тепло конденсации из скруббера через изолированный контур чистого водооборота.

Таким образом, решен вопрос утилизации тепла и возврата продукта в технологический процесс.

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПРОТИВ ЛОКАЛЬНОЙ КОРРОЗИИ**

*Гумирова А.Р., Ярославцева О.В., Останин Н.И., Трофимов А.А.*

*УрФУ, yaroslavtseva\_ov@list.ru*

*Александров С.В., ОАО «Первоуральский новотрубный завод»*

Нефть и газ имеют особое значение для экономики нашей страны. Из-за высокой коррозионной активности нефтепромысловых сред добыча и транспортировка этих энергоресурсов сопряжена с большими коррозионными рисками. Материальные потери от коррозии нефтепромыслового оборудования могут быть колоссальными, не говоря уже о крайне трудно восполнимом экологическом ущербе. Поэтому повышение коррозионной стойкости конструкционных материалов нефтепромыслового оборудования является чрезвычайно важной и актуальной научно-технической задачей.

Стойкость против локальной коррозии трех марок стали, применяемых для производства нефтегазопроводных труб в коррозионно-стойком исполнении, оценивали методом потенциостатической поляризации в 0,75 М растворе

серной кислоты с последующим спектральным анализом автоколебаний тока во времени [1].

Поскольку области активно-пассивного перехода для образцов разных марок сталей не совпадают из-за различия химического состава, потенциал для потенциостатических измерений выбирали индивидуально для каждой марки стали следующим образом:

- по анодным поляризационным кривым, предварительно полученным при линейной развертке потенциала (рис. 1), определяли диапазон потенциалов, соответствующих активно-пассивному состоянию стали;
- делили диапазон потенциалов активно-пассивного перехода на четыре равные части, в качестве наиболее чувствительного потенциала принимали третий потенциал в предпассивной области (отсекающий  $\frac{3}{4}$  диапазона переходной области).

Рассчитанные таким образом потенциалы для исследуемых марок стали приведены в табл. 1.

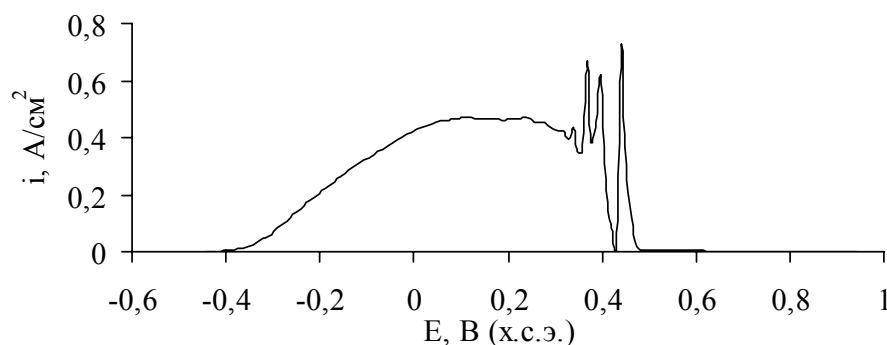


Рис. 1.  
Анодная  
поляризационная  
кривая для образца  
из стали 13ХФА

Типичная хроноамперограмма, полученная при потенциостатической поляризации одной из исследуемых сталей, приведена на рис. 2.

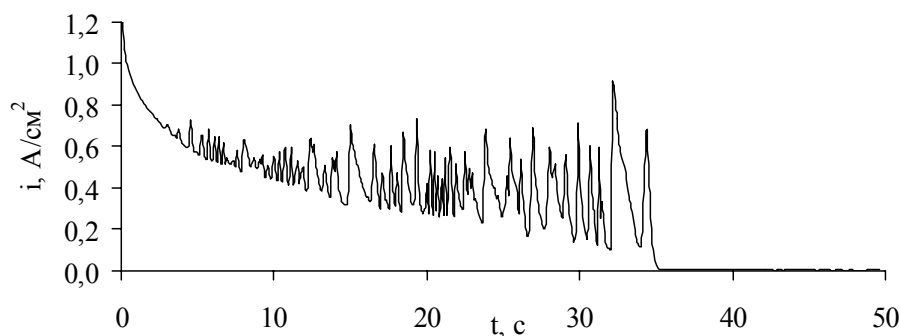


Рис. 2.  
Экспериментальная  
хроноамперограмма  
для образца  
из стали 13ХФА

На всех регистрируемых хроноамперограммах наблюдались осцилляции тока, связанные с изменением соотношения количества активных и пассивных питтингов в определенный период времени, а именно увеличение тока сопряжено с растворением питтингов на поверхности, снижение – с их пассивацией.

Спектральным анализом временных рядов колебаний тока была оценена цикличность активирования питтингов [1]. По максимуму на графике спектральной плотности (рис. 3) определяли частоту, характеризующую цикличность наибольшей активности питтингов и их вклад в коррозионный процесс,

связанный с пассивно-активным растворением. Результаты представлены в табл. 1.

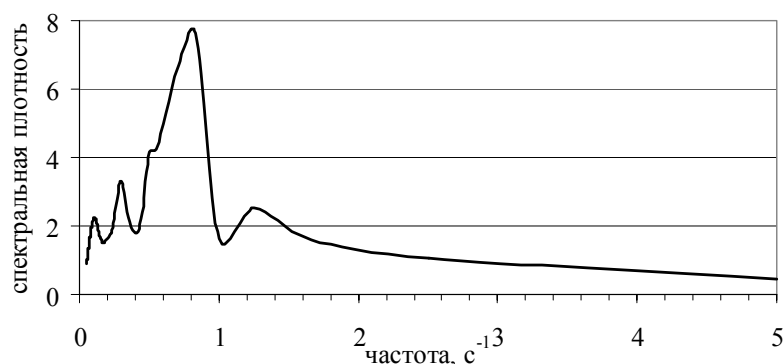


Рис. 3.  
Спектральная плотность, полученная в результате Фурье-анализа экспериментальных хроноамперограмм на стали 13ХФА

Полагали, что чем меньше частота, тем реже активируются имеющиеся или возникают новые коррозионно-активные участки, а значит, металл более устойчив к локальной коррозии. С другой стороны, чем большее количество питтингов находится в активном состоянии при определенной частоте, тем вероятно больше должна быть величина спектральной плотности. На основании этого, можно заключить, что образцы из стали 08ХМФБЧ обладают наилучшей стойкостью к локальной коррозии. Для стали 13ХФА характерна более частая активация питтинга при несколько меньшей их активности по сравнению со сталью 12ФА-SS.

Таблица 1

Частота наибольшей активности питтингов, определенная методом анализа временных рядов по экспериментальным хроноамперограммам

Марка стали	Потенциал поляризации <sup>1)</sup> , В (х.с.э.)	Частота <sup>1)</sup> , с <sup>-1</sup>	Спектральная плотность <sup>1)</sup>
08ХМФБЧ	0,330	0,71	5
		0,04	8
13ХФА	0,379	0,83	8
12ФА-SS	0,335	0,22	35

<sup>1)</sup> Среднее значение по 4-5 измерениям

Следует отметить, что результаты спектрального анализа качественно совпадают с данными о склонности к локальной коррозии исследуемых марок стали, полученными другим методом (табл. 2).

Таблица 2

Плотность размещения питтингов на образцах после быстрой циклической вольтамперометрии в области активно-пассивного перехода в растворе состава 0,15 моль/л  $H_3BO_3$  + 0,05 моль/л  $Na_2B_4O_7$  + 0,23 моль/л KSCN

Марка стали	Среднее число питтингов на единицу площади, шт./см <sup>2</sup> <sup>1)</sup>
08ХМФБЧ	151,8
13ХФА	253,8
12ФА-SS	254,4

<sup>1)</sup> Расчет по числу коррозионных поражений, лежащих на произвольно проведенной линии, используя цифровое изображение образца (увеличение  $\times 20$ )

Таким образом, по величине частоты активации и спектральной плотности автоколебаний тока в предпассивном состоянии, оценены различные по составу стали по их склонности к локальной коррозии. Показано, что используемый для оценки экспресс метод позволяет выбирать наиболее устойчивый к питтингообразованию материал. При эксплуатации изделий, изготовленных из него, следует ожидать увеличения межремонтных сроков, что в целом снизит энергозатраты и расходы на материалы.

*Библиографический список*

1. Гумирова А.Р., Останин Н.И., Рудой В.М., Ярославцева О.В., Мещерягин П.В., Александров С.В. Потенциостатический метод оценки стойкости сталей против локальной коррозии // Проблемы теоретической и экспериментальной химии: Тезисы докладов XXII Российской молодежной научной конференции. Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 255-256.

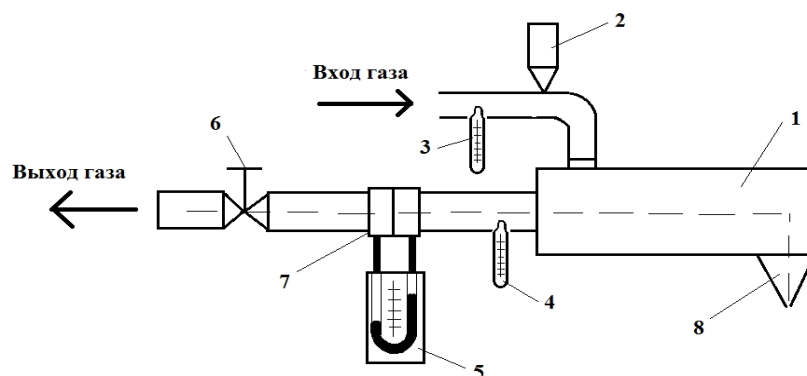
## ИССЛЕДОВАНИЕ МАССООБМЕНА ПОЛЕВОГО ШПАТА В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЦИКЛОНЕ

*Деведжиева Т.Ч., Замураев А.Е., Дзюзер В.Я., Шишкин, С.Ф., Долматова М.О.  
УрФУ*

Проведены опыты по изучению массообмена полевого шпата класса – 0,2 мм в прямоточном и противоточном горизонтальном циклоне-теплообменнике.

Исследования проводились на лабораторном стенде (рис. 1 а, б) в циклоне-теплообменнике, внутренний диаметр цилиндрической части которого равен 100 мм.

а



б

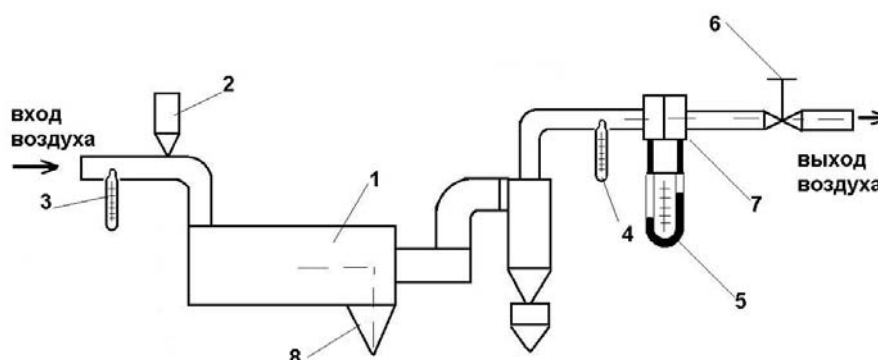


Рис. 1. Схема установки для испытания горизонтального противоточного (а) и прямоточного (б) циклона:

1 – циклон; 2 – загрузочное устройство; 3,4 – термометры; 5 – U-образный манометр; 6 – вентиль; 7 – диафрагма; 8 – разгрузочное устройство



Входной патрубок имеет размеры 76×32 мм. Во входной трубопровод перед циклоном 1 поступает горячий воздух. Циклон соединен с водокольцевым вакуум-насосом ВВН-12 выходным трубопроводом. В качестве измерительного прибора используется U-образный манометр 5, подключенный к диафрагме 7, для определения расхода воздуха. Расход воздуха регулируется вентилем 6.

Влажный полевой шпат поступает во входной трубопровод циклона 1 из загрузочного устройства 2, далее полевой шпат проходит через циклон 1 и улавливается в бункере 8. Подсушенный материал из бункера циклона взвешивался на весах и высушивался. Начальная влажность материала определялась с учетом равновесной влажности.

Значения расхода и скорости воздуха в циклоне представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения расхода и скорости воздуха в циклоне

Поз.	$W_{пл}, \text{ м/с}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$W_{вх. патр.}, \text{ м/с}$
3	3,0	0,023562	9,688
4	4,0	0,031416	12,918
5	5,0	0,03927	16,147
6	6,0	0,047124	19,377
7	7,0	0,054978	22,607

Опытные данные определения гранулометрического состава сведены в табл. 2 и на их основе рассчитан средний диаметр частиц. Средний диаметр частиц высушиваемого материала  $d_{ср}$  равен  $0,1047 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

Таблица 2

Средний диаметр частиц

Размеры сит, мм	Граничные размеры частиц	Средний диаметр $d_{ср}$ , мм	Вес фракции, г	Содержание, %	Средний диаметр фракции, мм
0,63	0,63	0,815	0	0	0
0,5	-0,5+0,63	0,565	0	0	0
0,4	-0,4+0,5	0,450	0	0	0
0,315	-0,315+0,4	0,358	0,2	0,11	0,000715
0,2	-0,2+0,315	0,258	1,2	0,63	0,00309
0,16	-0,16+0,2	0,180	1,5	0,79	0,0027
0,1	-0,1+0,16	0,130	4,5	2,38	0,00585
0,05	-0,05+0,1	0,075	93,6	49,42	0,0702
0	0+0,05	0,025	88,4	46,67	0,0221

Расчетная концентрация материала представлена в табл. 3.

Таблица 3

Результаты измерений и расчётов

$W_{пл}, \text{ м/с}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$n_{диафр}, \text{ мм}$	$\mu, \text{ кг/м}^3$	$\Delta P_{цикл}, \text{ кПа}$
3,0	0,023562	72	0,1413	1,90
4,0	0,031416	127	0,1060	2,95
5,0	0,03925	200	0,0848	4,70
6,0	0,047124	289	0,0707	6,60

Выполнено определение коэффициента скорости испарения (коэффициента массоотдачи). Результаты исследований представлены на рис. 2 а, б.

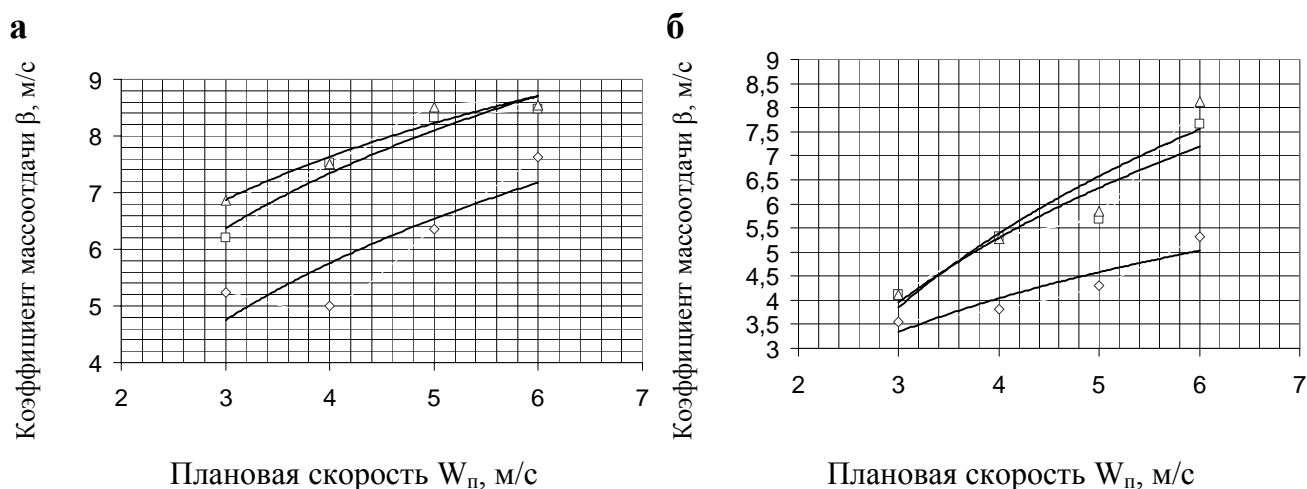


Рис. 2. Зависимость коэффициентов массоотдачи от плановой скорости в прямоточном (а) и противоточном (б) циклоне при нескольких проходах высушиваемого материала через циклон: Δ – один проход; □ – два прохода; ◇ – три прохода

#### Выводы:

1. По результатам исследований процесса сушки полевого шпата в прямоточном циклоне-теплообменнике можно сделать выводы, что коэффициенты массоотдачи  $\beta$  при сушке влажного материала в одно-, двух- и трёхступенчатом циклоне-теплообменнике увеличиваются.

2. Исследования изменения влажности после каждой ступени 3-х ступенчатого циклона-теплообменника показали, что влажность материала после сушки при  $W_{\text{п}} = 3,0$  м/с изменялась от 4,67 % до 0,5 %, при  $W_{\text{п}} = 4,0$  м/с изменялась от 3,6 % до 0,27 %, при  $W_{\text{п}} = 5,0$  м/с изменялась от 2,83 % до 0,58 % и при  $W_{\text{п}} = 6,0$  м/с изменялась от 1,47 % до 0,05 %, соответственно, при одно-, двух- и трёхступенчатой сушке полевого шпата в циклоне.

Таким образом, можно дополнительно сушить влажный полевой шпат низкопотенциальным теплом дымовых газов после барабанных сушилок на ОАО «Вишневогорский ГОК» в 2-х – 3-х ступенчатом циклоне-теплообменнике для получения полевого шпата с конечной влажностью менее двух процентов.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ В ПРОТИВОТОЧНОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЦИКЛОНЕ

Дерябин Д.А., Ванжина Е.С., Замураев А.Е.  
УрФУ

На кафедре ОАСП проведены исследования эффективности пылеулавливания в противоточном горизонтальном циклоне и измерено его гидравлическое сопротивление. Исследуемым аппаратом является циклон 1 (рис. 1). Внутренний диаметр цилиндрической части равен 100 мм. Входной патрубок имеет размеры 76×32 мм. Циклон соединён трубопроводом 3 с водокольцевым ваку-

ум-насосом ВВН-12, установленным в машинном зале. Расход воздуха регулируется вентилем 4. В качестве измерительных приборов используются: U-образный манометр 5, подключенный к коллектору 6, диафрагма 10 и U-образный манометр 11 для определения расхода воздуха и U-образный манометр 7, подсоединённый на входе в циклон и выходе из него, для определения гидравлического сопротивления циклона.

Пыль из пылеподатчика 8 поступает в эжектор, из которого дезагрегированные частицы сжатым воздухом подаются через коллектор 6 во входной трубопровод 2, в котором пыль смешивается с воздухом, образуя запылённый воздушный поток, поступающий на очистку в циклон. Уловленная пыль накапливается в бункере циклона. Выгрузка пыли из бункера циклона производится только после отключения пылеподатчика 8, сжатого воздуха на эжектор 10 и полного закрытия вентилей 4. Для определения запылённости воздушного потока после циклона используется пылезаборное устройство, состоящее из заборной трубки 11, фильтродержателя 12, регулировочного вентилей 13, ротаметра 14 типа РС-3 и вакуумметра 15.

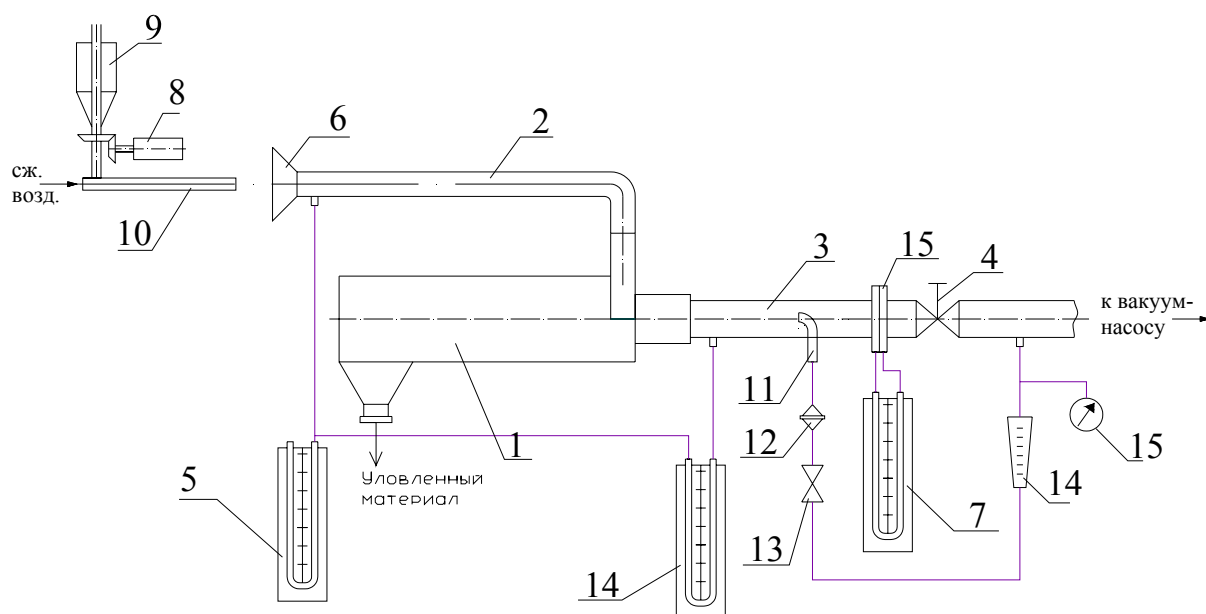


Рис. 1. Схема установки для испытания циклона:

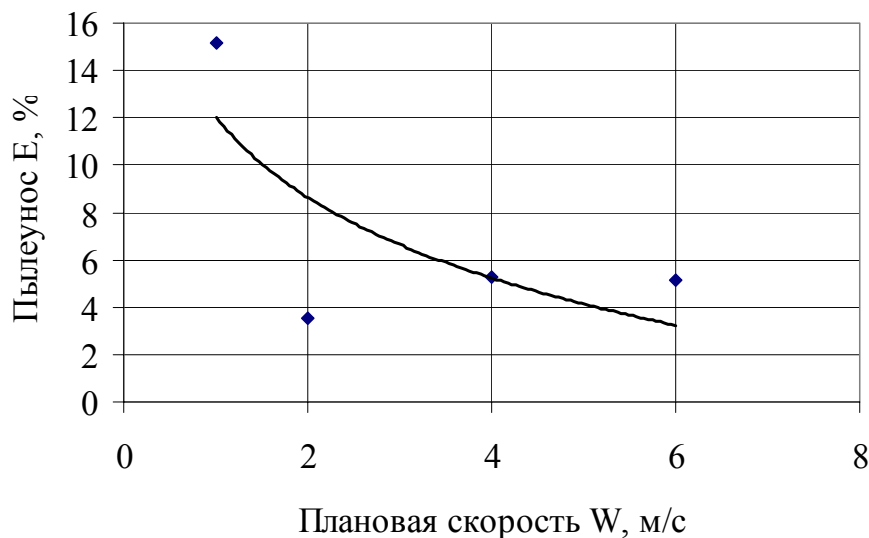
1 – циклон; 2 – входной трубопровод; 3 – трубопровод с водокольцевым вакуум-насосом ВВН-12; 4 – вентиль; 5, 7 – U-образный манометр; 6 – коллектор; 8 – пылеподатчик; 9 – бункер; 10 – эжектор; 11 – заборная трубка; 12 – фильтродержатель; 13 – регулировочный вентиль; 14 – ротаметр типа РС-3; 15 – вакуумметр

Выполнен расчет эффективности пылеулавливания и определен пылеунос в зависимости от плановой скорости воздуха  $W_n$  (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1

## Расчёт эффективности пылеулавливания

$W_p$ , м/с	Расход воздуха $Q_{p.у.}$ , $м^3/с$	Гидравлическое сопротивление $\Delta P$ , мм вод. ст./кПа	Средняя за- пыленность воздуха на входе $C_{вх}$ , $мг/м^3$	Средняя за- пыленность воздуха на выходе $C_{вых}$ , $мг/м^3$	Степень очи- стки (КПД) циклона, $\eta_{ср}$ , %
1,0	0,00785	10/0,098	3708,42	570,46	84,85
2,0	0,01571	36/0,353	1853,03	65,89	96,44
4,0	0,03142	136/1,334	926,63	48,92	94,72
6,0	0,04712	310/3,041	617,81	31,87	94,84

Рис. 2. Зависимость пылеуноса  $E$  от плановой скорости воздуха  $W_p$  в горизонтальном циклоне

Определён дисперсный состав пыли до и после циклона. Расчет дисперсного состава пробы пыли проводится по привесам осажденной пыли на каждой ступени

импактора. Принимая за 100 % суммарный вес осадка на всех ступенях прибора и фильтре, определяют долю частиц, осевшую на каждой отдельной ступени. При обработке результатов измерений строится интегральная кривая дисперсного состава в вероятностно-логарифмической сетке координат, в которой по оси абсцисс в логарифмическом масштабе – относительная доля частиц  $\xi$  ( $d_i$ ) диаметром более  $d_i$ .

Исследования проводились на цементной пыли с  $d_{50} = 17$  мкм,  $\lg \sigma = 0,41$ .

Исследования уловленной цементной пыли из бункера циклона показали, что у пыли  $d_{50} = 19$  мкм,  $\lg \sigma = 0,63$ .

Выполнен расчет фракционной эффективности циклона (табл. 2, рис. 3).

Таблица 2

Фракционная эффективность циклона при плановой скорости воздуха в циклоне 4,0 м/с

№ ступ.	$d_{50}$ , мкм	$R_{исх}$ , %	$R_{ул}$ , %	$\eta_{фр}$ , %
1	>18,9	100	100	94,72
2	18,9	66,46	51,91	73,98
3	9,4	21,4	11,42	50,55
4	7,1	15,74	4,02	24,19
5	3,5	11,35	2,12	17,62
6	2,4	4,02	0,72	16,96
7	1,7	3,14	0,22	6,64
8	0,9	2,65	0,12	4,29
9	<0,9	0,74	0,07	8,96

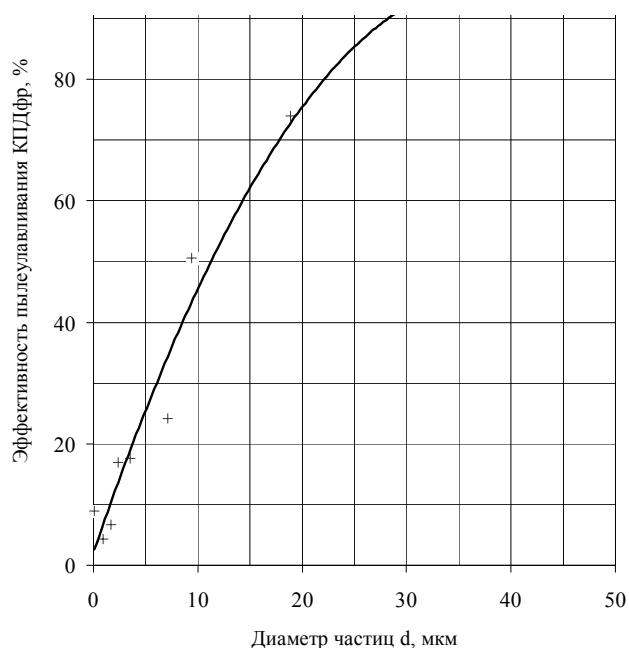


Рис. 3. Фракционная эффективность пылеулавливания

### Выводы

1. Выполнены исследования горизонтального циклона на эффективность пылеулавливания, составившую 84,85...94,84 % при плановой скорости воздуха 1...6 м/с. Гидравлическое сопротивление горизонтального циклона равно 0,098...3,04 кПа при плановой скорости воздуха 1...6 м/с.

2. Выполнены исследования дисперсного состава пыли перед горизонтальным циклоном, а также пыли, уловленной в бункере, выполнен расчёт

фракционной эффективности пылеулавливания.

3. Снижение плановой скорости  $W_p$  воздуха в циклоне с 6,0 до 4,0 м/с позволяет снизить энергозатраты с 3,0 до 1,3 кДж на 1000 м<sup>3</sup> очищаемого воздуха при той же эффективности пылеулавливания.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СУШКИ ПОЛЕВОГО ШПАТА В ПРОТИВОТОЧНОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЦИКЛОНЕ

Дерябин Д.А., Ванжисина Е.С., Замураев А.Е.

УрФУ

На кафедре ОАСП проведены исследования по сушке полевого шпата, продукция ОАО «Вишневогорский ГОК», на стенде в горизонтальном циклоне-теплообменнике.

Исследования проводились на лабораторном стенде (рис. 1) в циклоне-теплообменнике. Внутренний диаметр цилиндрической части равен 100 мм. Входной патрубок имеет размеры 76×32 мм. Во входной трубопровод перед циклоном 1 поступает горячий воздух. Циклон соединен с водокольцевым вакуум-насосом ВВН-12 выходным трубопроводом. В качестве измерительного прибора используется U-образный манометр 5, подключенный к диафрагме 7, для определения расхода воздуха. Расход воздуха регулируется вентилем 6.

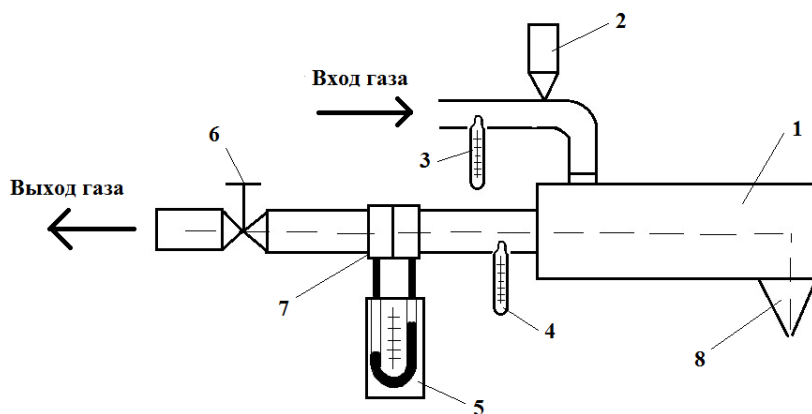


Рис. 1. Схема установки для испытания горизонтального циклона:

1 – циклон; 2 – загрузочное устройство; 3, 4 – термометры; 5 – U-образный манометр; 6 – вентиль; 7 – диафрагма; 8 – разгрузочное устройство

Влажный полевой шпат со средним диаметром частиц 0,1 мм поступает во входной трубопровод циклона из загрузочного устройства 2, далее полевой шпат проходит через циклон и улавливается в бункере 8. Подсушенный материал из бункера циклона взвешивался на весах и высушивался. Начальная влажность материала определялась с учетом равновесной влажности.

Результаты измерений влажности материала приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений влажности материала

Поз.	Расход воздуха $Q, \text{ м}^3/\text{с} /$ $W_{\text{пл}}, \text{ м/с}$	$G_{\text{вл}},$ $\text{г}$	$G_{\text{сух}},$ $\text{г}$	$G_{\text{выс}},$ $\text{г}$	$G_{\text{прок}},$ $\text{г}$	Показания термо- метров $t,$		Содержание влаги в шпате на абсолютно сухое вещество				Кол- во пов- то- ров
						на вхо- де	на вы- ходе	на вхо- де $W, \text{ г}$	на вхо- де $W, \%$	на вы- ходе $W, \text{ г}$	на выходе $W, \%$	
Результаты измерений влажности полевого шпата $W_{\text{пл}} = 1,66 \text{ м/с}$												
1	0,013/ 1,66	110,0	100,0	90,9	89,7	100	89	10,0	10,0	1,2	1,34	1
2	0,013/ 1,66	110,0	100,0	102,3	102,1	100	90	10,0	10,0	0,2	0,196	2
3	0,013/ 1,66	110,0	100,0	84,27	81,77	100	90	10,0	10,0	2,5	3,0	3
Результаты измерений влажности полевого шпата $W_{\text{пл}} = 3,0 \text{ м/с}$												
1	0,023562 /3,0	110,0	100,0	93,43	92,87	75	65	10,0	10,0	0,56	0,603	1
2	0,023562 /3,0	110,0	100,0	91,33	90,03	65	50	10,0	10,0	1,3	1,44	2
3	0,023562 /3,0	110,0	100,0	87,43	87,0	70	60	10,0	10,0	0,43	0,49	3
Результаты измерений влажности полевого шпата $W_{\text{пл}} = 4,0 \text{ м/с}$												
1	0,031416 /4,0	110,0	100,0	95,63	92,37	65	55	10,0	10,0	3,26	3,3	1
2	0,031416 /4,0	110,0	100,0	89,37	89,13	65	55	10,0	10,0	0,24	0,27	2
3	0,031416 /4,0	110,0	100,0	89,17	88,9	65	55	10,0	10,0	0,27	0,304	3
Результаты измерений влажности полевого шпата $W_{\text{пл}} = 5,0 \text{ м/с}$												
1	0,03927 /5,0	110,0	100,0	97,1	94,33	57	47	10,0	10,0	2,77	2,94	1
2	0,03927 /5,0	110,0	100,0	85,73	85,1	55	45	10,0	10,0	0,63	0,74	2
3	0,03927 /5,0	110,0	100,0	78,53	78,1	55	45	10,0	10,0	0,43	0,55	3
Результаты измерений влажности полевого шпата $W_{\text{пл}} = 6,0 \text{ м/с}$												
1	0,047124 /6,0	110,0	100,0	91,73	90,8	60	49	10,0	10, 0	0,93	1,0 2	1
2	0,047124 /6,0	110,0	100,0	90,97	90,67	55	45	10,0	10, 0	0,3	0,3 3	2
3	0,047124 /6,0	110,0	100,0	88,43	88,23	55	45	10,0	10, 0	0,2	0,2 3	3

Таблица 2

Влажность пол шпата после сушки последовательно  
в 1-м, 2-х и 3-х горизонтальных циклонах

$W_{п}, \text{ м/с}$	1,66	3	4	5	6
$W_1, \%$	1,34	0,603	3,2	2,94	1,02
$W_2, \%$	0,196	1,44	0,27	0,74	0,33
$W_3, \%$	3,0	0,49	0,304	0,55	0,23

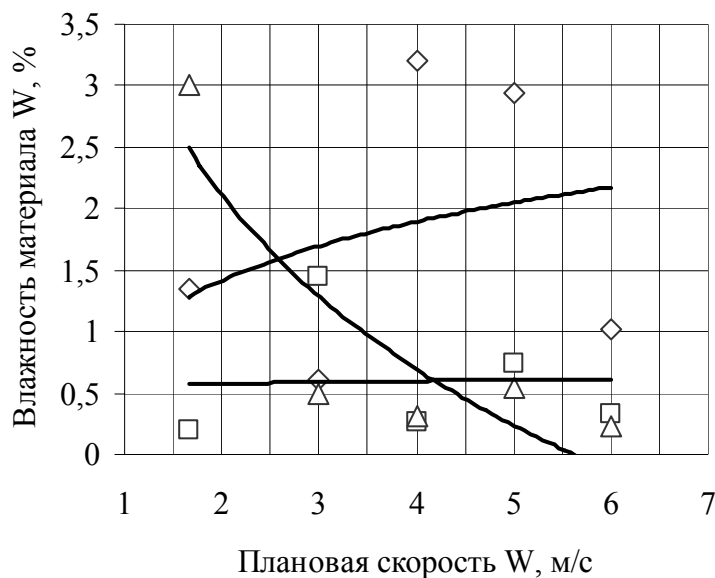


Рис. 2. Влажность пол. шпата  
после сушки в циклоне:  
◇ – в 1-м; □ – в 2-х; Δ – в 3-х

#### Выводы:

1. Выполнены исследования по сушке полевого шпата последовательно в 1-м, 2-х и 3-х горизонтальных противоточных циклонах при начальной влажности 10 %.
2. Исследования показали, что возможна сушка полевого шпата с использованием низкопотенциального тепла отходящих газов и в горизонтальном циклоне с достижением конечной влажности материала менее 2 %, что обеспечивает энергосберегающий и экологический эффект.

### ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИЗОМЕРИЗАЦИИ ПАРАФИНОВ ДЛЯ АНТИПИНСКОГО НПЗ

Дробинин Е.И., Белоусова О.А.  
УрФУ

Требования существенного снижения содержания ароматических углеводородов в бензинах заставляют нефтеперерабатывающие заводы применять другие методы введения высокооктановых компонентов в бензин. Каталитиче-

ское превращение легких парафинов нормального строения в соответствующие изопарафины происходит при переработке нефти в процессах крекинга, пиролиза, риформинга и приводит, в частности, к получению бензинов с высоким октановым числом. Одним из способов получения высокооктановых компонентов является также процесс изомеризации парафиновых углеводородов.

Анализ методов и необходимого сырья для изомеризации алканов показал, что сырьем для установок изомеризации могут быть прямогонные легкие бензиновые фракции или легкие бензины гидрокрекинга. В то же время целесообразно раздельно изомеризовать индивидуальные алканы с различным числом атомов углерода, так как можно применять оптимальные условия процесса для каждого углеводорода.

Известны следующие технологические схемы реализации процесса изомеризации: схема изомеризации н-бутана, схема изомеризации фракции C<sub>5</sub>/C<sub>6</sub>, схема с колонной деизопентанизации (ДИП) перед реакторным блоком, схема с колонной деизогексанизации (ДИГ) после реактора изомеризации, схема с рециклом н-пентана (с ДИП и ДП) (требует дооборудования колонны депентанизации изомеризата после реакторного блока и колонны деизопентанизации перед реактором), схемы с рециклом н-пентана и н-гексана, технология Penex-Plus для переработки сырья с высоким содержанием бензола и процессы, включающие адсорбционное разделение непрореагировавших н-парафинов и изомеров – Penex/Iso Siv, Penex/Molex, Penex/DIH/PSA [1, 2].

При реализации схемы изомеризации с рециклом н-пентана и н-гексана у полученного изомеризата самое высокое октановое число (90-92) (таблица).

Сравнительная оценка различных типов катализаторов изомеризации

Наименование		Фтори- рован- ные ка- тализа- торы	Цео- литные катали- заторы	Хлори- рован- ные ка- тализа- торы	Сульфатированные оксиды	
					СИ-2	Ана- логи СИ-2
Допустимое сод. в сырье, ppm:	- S - N - H <sub>2</sub> O	до 100 1-3 до 100	до 10 1 до 20	<0,5 <0,1 <0,1	1-5 1-2 до 20 (50)	1 1 10-20
Октановое число изокомпонента, пункты (И.М.):	- «за проход»	70-72	76-78	82-84	83-85	81-83
	- с рециклом н-C <sub>5</sub>	73-75	78-81	84-85	85-86	84-85
	- с рециклом низ- кооктановых C <sub>6</sub>	-	81-83	86-88	87-88	86-87
	- с рециклом н-C <sub>5</sub> и C <sub>6</sub>	-	83-85	90-91	90-92	89-90
Относительные эксплуатацион- ные затраты про- цесса:	- «за проход» - с рециклом низ- кооктановых гек- санов	1,5 нет данных	1,2 5	1,1 3,3	1,0 3	1,1 3,6
Относительные капитальные за- траты процесса:	- «за проход» - с рециклом низ- кооктановых гек- санов	1,6 нет данных	1,2 4,0	1,3 2,0	1,0 1,5	1,4 2,2



В качестве катализаторов процесса изомеризации применяют цеолитсодержащие катализаторы, катализаторы на основе хлорированной окиси алюминия, катализаторы, содержащие сульфатированные оксиды металлов и др. [2-6] (см. таблицу). Из данных таблицы следует, что наиболее высокие показатели по активности и селективности используемых катализаторов достигнуты на установках изомеризации, работающих на катализаторе СИ-2, содержащем сульфатированный оксид циркония.

Таким образом, с целью максимального использования полезных ресурсов сырья, из всех схем изомеризации для реализации на Антипинском НПЗ выбираем схему с рециклом н-пентана и н-гексана, так как при эксплуатации данного проекта у изомеризата самое высокое октановое число (90-92). Сырьё для изомеризации – н-пентан и н-гексан, так как именно их изомеры повышают октановое число бензинов. Важными факторами являются также низкие показатели капитальных затрат и относительных эксплуатационных затрат при реализации процесса.

#### *Библиографический список*

1. Хаимова Т.Г., Мхитарова Д.А. Изомеризация как эффективный путь производства высокооктановых компонентов бензина // Информационно-аналитический обзор. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2005. 80 с.
2. Воевода Н.В. Повышение октановых чисел бензинов // Информационно-аналитический обзор. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2001. 114 с.
3. Домерг Б., Ватрипон Л. Дальнейшее развитие технологии изомеризации парафинов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2001. № 4. С. 15-27.
4. Покровский С. Новые зарубежные технологии нефтепереработки // Нефтегазовая вертикаль. 2002. № 7. С. 68-71.
5. Агабеков В.Е., Сеньков Г.М. Каталитическая изомеризация легких парафиновых углеводородов // Катализ в химической и нефтехимической промышленности. 2006. № 5. С. 31-41.

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ**

*Касьянова С.И., Вараева Е.А., Аксенов В.И., Ничкова И.И.  
УрФУ, Sweetlana\_me@mail.ru, eabondarenko@esa-01.ru*

В процессе добычи, обогащения и переработки руд на горно-обогатительных комбинатах (ГОК) образуется значительное количество шахтных и подотвальных вод, загрязненных соединениями тяжелых металлов, кислотами, растворимыми солями (прежде всего, сульфатами), оказывающими негативное влияние на природные воды.

Сточные воды горно-обогатительных комбинатов имеют схожий состав, они высокоминерализованы, агрессивны, примеси находятся в виде взвесей и в растворенном виде.

В настоящее время для очистки сточных вод применяют в зависимости от состава их загрязнений методы механической, химической, физико-химической и биологической очистки. Однако анализ литературных данных показал, что достаточно эффективных и экономичных методов удаления растворенных примесей из стоков для предприятий горнопромышленного комплекса не существует.

вует. Известные методы связаны с образованием большого количества осадков и низкой эффективностью.

Основу процесса очистки шахтных, дебалансных и подотвальных вод составляет реакция нейтрализации свободной серной кислоты, определяющей низкие значения рН очищаемых вод, с последующим образованием гидроксидов тяжелых металлов и сульфата кальция (в виде гипса).

Эффективность очистки стоков на существующих очистных сооружениях (станция нейтрализации) по основным загрязняющим веществам на примере Учалинского ГОК представлена в табл. 1.

Таблица 1

Состав воды на входе и на выходе станции нейтрализации (средние значения)

Наименование ингредиента	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>		Эффективность очистки, %	Кратность превышения над ПДК	ПДК рыб.-хоз., мг/дм <sup>3</sup>
	Вход	Выход			
рН, ед	4,0±0,3	8,8±0,5	—	—	6,5-8,5
Взвешенные в-ва	2878±5	56,4±5,0	98,0	6	10
Сульфаты	5261±782	3089±463	41,2	31	100
Железо общ.	71,1±4,3	0,21±0,02	99,7	2	0,1
Марганец	44,4±0,5	0,500±0,054	98,9	50	0,01
Медь	35,9±3,6	0,024±0,005	99,9	24	0,001
Цинк	267±43	0,090±0,016	99,9	9	0,01
Сухой остаток	2848±142	5206±260	—	—	не норм.

Анализ результатов работы станции показал, что технология обеспечивает недостаточно эффективную очистку от тяжелых металлов (в относительных единицах) и от сульфатов. На выходе отмечаются существенные превышения ПДК: по Zn – в 9 раз, по Cu – в 24 раза, по Mn – в 50 раз по нормам для рыбохозяйственных водоемов. К тому же, существуют такие недостатки технологии, как нестабильность смеси шахтных и подотвальных вод, подаваемой на очистку; неравномерное распределение флокулянта в потоке, что препятствует процессу хлопьеобразования; выпадение большого количества гипса, обусловленное, в частности, перерасходом известкового молока, что существенно ухудшает работу станции нейтрализации за счет «зарастания» технологического оборудования и «проскока» взвешенных веществ на выходе.

Все это обуславливает необходимость усовершенствования существующей технологии очистки сточных вод комбината перед частичным сбросом в водоем и повторным использованием части очищенных сточных вод.

В результате проделанной работы, была предложена схема очистки сточных вод комбината от растворенных примесей, а также сульфатов реагентным методом с применением известкового Ca(OH)<sub>2</sub>.

При разработке технологической схемы обработки сточных вод комбината предлагается шахтные и подотвальные воды обрабатывать отдельно. При этом предварительно очищенные на биохимических сооружениях дебалансные воды хвостохранилищ предлагается обрабатывать совместно с шахтными.

Смешивание всех видов очищенных стоков предусмотрено на стадии рекарбонизации.

При изменении реакции среды сточных вод происходит выпадение гидроксидов металлов в осадок, одновременно происходит образование гипса, т.е. связывание сульфатов. Присутствующие в стоках органические вещества в основном удаляются гидролизацией.

В основе предлагаемой методики снижения минерализации сточных вод лежит перещелачивание (до  $\text{pH}=11$ ) с целью связывания как можно большего количества сульфатов в стабильную форму – двуводный гипс  $\text{Ca}(\text{OH})_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ , параллельно связыванию сульфатов происходит очистка сточных вод от металлов.

Для интенсификации процесса нейтрализации предложено использовать введение в сток затравки из оборотного осадка, в результате чего наблюдается образование более плотного осадка и его быстрое выпадение.

Обработка сточных вод производится в 2 этапа:

1. Перещелачивание с применением известкового молока и введение затравки из оборотного осадка до достижения предела растворимости гипса, т.е. содержание сульфатов в воде должно составить не более  $1,13 \text{ г/дм}^3$ .

2. Рекарбонизация воды после выделения сульфатов с целью удаления кальция, внесенного при перещелачивании. При этом растворенный кальций связывается в известняк  $\text{CaCO}_3$  и выпадает в осадок, а  $\text{pH}$  воды снижается до нейтральной (7,0-8,0).

Исходя из необходимости получения сточных вод с минимальным содержанием сульфатов, предложенная ранее схема обработки стоков подтверждается данными, приведенными в табл. 2.

Таблица 2

Содержание сульфатов в очищенных сточных водах

Наименование	$\text{pH}$ среды, ед.	Содержание сульфатов, г/л
Подотвальные	11,0	1,11
Шахтные (460 м)	9,0	1,10
Шахтные (144 м)	10,0	1,12
Шахтные+дебалансные	9,0	1,10
Дебалансные	9,0	1,12
Подотвальные+шахтные+дебалансные перед рекарбонизацией	10,0	1,12

Таким образом, предложенная схема обработки сточных вод производится как до требований для возврата воды в производство, так и до требований к сбросу в водоем, что позволяет значительно экономить свежую воду.

Применение предлагаемой технологии обработки стоков горно-обогатительных комбинатов позволяет достигать высокой эффективности очистки с минимальным энергопотреблением, а также позволит предотвратить загрязнение водоемов и почв токсичными шламами и концентратами. Такое решение позволит улучшить экологическую обстановку в районах расположения комбинатов, а также снизить потребление отраслью водных ресурсов за счет

создания оборотных циклов, почвенных ресурсов, которые в настоящее время используются для создания шламонакопителей, являются чрезвычайно засоленными, в ряде случаев радиоактивными и непригодными для применения в любых сферах деятельности человека и природы.

#### *Библиографический список*

1. Аксенов В.И., Бондаренко, Е.А. Валенцева Т.А. Обезвоживание осадков станции нейтрализации Учалинского ГОКа // Вода: проблемы и решения: Сборник докладов Всероссийской НПК. Вып. 8. Тюмень: РИО ВПО ТюмГАСУ, 2011. 83 с.
2. Бондаренко Е.А. Проблемы водного хозяйства горно-обогатительных комбинатов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 13-16 декабря 2011 г. Екатеринбург: УрФУ, 2011. С. 295-296.
3. Аксенов В.И., Балакирев В.Ф., Филипенко А.А. Проблемы водного хозяйства металлургических, машиностроительных, металлообрабатывающих предприятий. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 264 с.

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

*Киселева О.С., Худякова Г.И.  
УрФУ, kiseleva-olga12@mail.ru*

Экономическая целесообразность и экологическая необходимость повторного и многократного использования природных ресурсов путем вовлечения части отходов производства в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья (материалов) доказана многолетней практикой во многих странах мира.

Использование вторичных материалов в развитых странах сопряжено с двумя проблемами: во-первых, нехватка собственных ресурсов, во-вторых, жесткие требования экологического законодательства.

В Германии на основании совместной работы с советскими специалистами были приняты законы, согласно которым металлургические шлаки из категории отходов были переведены в разряд побочных продуктов производства, что привело к созданию технических требований к вторичным ресурсам и позволило сократить число процедур по их подготовке к повторному производству. На уровне европейского сообщества такое же решение было принято в 1995 г., и металлургические шлаки были исключены из Европейского каталога отходов (European Waste Catalogue) [1].

На базе немецкого исследовательского института металлургических шлаков в 2000 г. была создана общеевропейская ассоциация шлаков «Euroslag», главной целью которой является разработка максимальной эффективности использования шлаков в производстве строительных материалов и в строительстве.

В России же переработка шлаков государством не регулируется и является прерогативой крупных промышленных предприятий, деятельность которых требует поддержания имиджа экологически безопасных производств.

Для производства бетонных изделий из отходов металлургического производства по ГОСТ 5578-94 [2] необходимо удовлетворительное прохождение трех анализов:

- Радиографический анализ – для всех видов строительства удельная эффективная активность шлака должна быть меньше 370 Бк/кг при строительстве жилых и общественных зданий.
- Химический и минералого-петрографический анализ (содержание металлических включений (корольков, скрапа), содержание сернистых и сернокислых соединений).
- Анализ физико-механического состава (содержание пылевидных и глинистых частиц, содержание глины в комках, устойчивость против силикатного и железистого распада).

Так, например, результатом выполнения договора на создание НИР «Оценка использования шлаков сталеплавильного производства в различных отраслях промышленности» стал вывод о невозможности применять исследуемый шлак с отвалов Свердловской области в строительных бетонах и растворах, а также в дорожном строительстве в виду несоответствия шлака требованиям по прочности, определяемая как марка по дробимости.

Для графического представления об испытуемом шлаке ниже приведена таблица результатов испытаний по определению устойчивости шлака к железистому распаду по ГОСТ 8269.0-97 [3]. Железистый распад происходит в результате взаимодействия закиси железа с сульфидной серой и образования сульфида железа FeS, который во влажной атмосфере переходит в гидрат Fe(OH)<sub>2</sub>, что сопровождается увеличением объема на 38 %.

Высушивание до постоянной массы для определения устойчивости  
против железистого распада

По фракциям	Первоначальная масса, г	Масса после просушки, г			
		1	%	2	%
5-10	9249	9236	0,141	9230	0,065
10-20	9395	9379	0,170	9372	0,096
20-40	17907	17892	0,084	-	-

Как видно из таблицы, потеря массы шлака не превышает 8 %, что установлено ГОСТ 5578-94 для определения стойкости против железистого распада.

Затраты на анализ вторичного использования металлургических отходов не соизмеримы с тем экономическим эффектом, который может быть получен при переработке отходов по сравнению с захоронением отходов производства. Если учесть снижение экологической опасности, то при введении нормативно-правовых актов, ужесточающих (даже лимитированное) загрязнение окружающей среды, эффективность масштабного применения известных во всем мире технологий возрастет в несколько раз.

Для примера, шлаковый щебень в 1,5-2 раза дешевле природного и требует в 4,5 раза меньше удельных капитальных вложений. Шлаковая пемза в 3 раза

дешевле керамзита и требует в 1,5 раза меньше удельных капитальных вложений.

Для увеличения масштабов использования вторичных материалов, в том числе шлаков, в строительной индустрии и других отраслях необходимы следующие законодательные меры:

- Стимулирование высококвалифицированных специалистов, так как многие перспективные разработки из-за нехватки финансирования и других объективных причин были потеряны.

- Поддержка научно-исследовательских институтов, создание на их базе инновационных предприятий.

- Субсидирование малых инновационных предприятий, льготное кредитование, предоставление рассрочки по аренде недвижимого имущества.

- Система налоговых льгот для предприятий, перерабатывающих отходы и использующих вторичное сырье.

- Стимулирование спроса на продукцию из переработанных отходов, в том числе посредством государственных заказов.

- Ужесточение мер по отводу земельных участков под карьеры – в качестве альтернативы предложить переработку и утилизацию существующих отходов.

- Исключение металлургических отходов из Федерального классификационного каталога отходов, то есть перевод их в категорию повторно применяемых ресурсов.

- Введение саморегулируемой организации среди промышленников для снижения накоплений техногенных отходов (по мнению Минприроды РФ [4], основными функциями СРО станут выработка стандартов по обращению с отходами и управление специальным резервным фондом, деньги из которого будут направляться на утилизацию отходов).

Последний пункт на данном этапе менее надежен и требует больших усилий по установлению границ саморегулирования для предприятий промышленной отрасли, так как обеспечение экологической безопасности априори находится в ведении органов государственной власти.

Делая вывод о возможности переработки металлургических отходов, следует отметить необходимость государственного вмешательства, так как обеспечение экологической политики не должно перекладываться на промышленные предприятия, и возможность получения экономического эффекта от вторичных материалов должна быть отражена законодательно.

#### *Библиографический список*

1. European Waste Catalogue [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.euroslag.org/fileadmin/\\_media/images/Status\\_of\\_slag/Position\\_Paper\\_April\\_2012.pdf](http://www.euroslag.org/fileadmin/_media/images/Status_of_slag/Position_Paper_April_2012.pdf)
2. ГОСТ 5578-94 Щебень и песок из шлаков черной и цветной металлургии для бетонов. Технические условия.
3. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.

4. Проект федерального закона № 584399-5 «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и другие законодательные акты Российской Федерации (в части экономического стимулирования в области обращения с отходами)».

## **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ**

*Кочнева А.А., Новоселова М.С., Уфимцев В.М.  
УрФУ, novoselovamsh@gmail.com*

Наряду с сырьевыми материалами природного происхождения цементная промышленность все более начинает использовать для своих целей вторичное сырье – отходы промышленности. К этим искусственным сырьевым материалам в первую очередь относятся металлургические шлаки. Шлаки – это отходы металлургической промышленности, образующиеся в условиях высоких температур в результате физико-химического взаимодействия компонентов исходных твердых материалов (топлива, руды, плавней) и газовой среды. Среди промышленных отходов шлаки занимают одно из первых мест, уступая по объему лишь отходам горнодобывающей промышленности. Их химический состав и структура изменяются в зависимости от состава пустой породы, вида выплавляемого металла, особенностей металлургического процесса, условий охлаждения и др. Наибольшим является выход доменных шлаков, на 1 т чугуна он составляет 0,6...0,7 т. При выплавке стали выход шлаков на 1 т значительно меньше: при мартеновском способе – 0,2...0,3 т, бессемеровском и томасовском – 0,1...0,2 т, при выплавке стали в электропечах – 0,1...0,04 т. Химический состав доменных шлаков представлен в основном четырьмя оксидами: CaO (29...30 %), MgO (0...18 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5...23 %) и SiO<sub>2</sub> (30...40 %), в небольшом количестве в них содержатся оксиды железа (0,2...0,6 %) и марганца (0,3...1 %), а также сера (0,5...3,1 %). Сталеплавильные шлаки характеризуются более высоким содержанием оксидов железа (до 20 %) и марганца (до 10 %). Оксиды, входящие в шлаки, образуют разнообразные минералы, установлена возможность существования в шлаках до сорока двойных и тройных соединений, ведущее место среди которых занимают силикаты, алюмосиликаты, алюминаты и ферриты – минералы, аналогичные минералам портландцементного клинкера.

На текущий момент отечественная металлургия в процессе модернизации переходит от мартеновской к плавке в электрических сталеплавильных печах, что значительно повышает качественные характеристики металла и одновременно снижает энергопотребление процесса. При этом на 1 т металла образуется до 1 т шлака, причем до 100 кг его представлены дисперсным продуктом. Диспергирование шлака вызывается фазовыми превращениями двухкальциевого силиката, снижающими его гидравлическую активность. С одной стороны, использование пылевидного материала создает проблемы, связанные с пылевыделением, с другой – существенно снижаются затраты на измельчение вяжущего, что упрощает и удешевляет технологию. Следует добавить, что остальная часть шлаков, 90–95 % представлена кусковым шлаком, который является эффективным заменителем щебня и песка на основе природного камня.

Сравнивали два шлака электроплавки стали Северского трубного завода, отличающихся содержанием алюминатов и ферритов.

В качестве сульфатного возбuditеля использовали природный дигидрат сульфата кальция, гипсовый камень, отход ОАО «Галоген» г. Пермь – фторангидрит и ангидрит, полученный обжигом отработанных гипсовых форм керамического производства.

Шлак и сульфатную добавку дозировали в заданной пропорции, тщательно перемешивали, увлажняли, а затем формовали образцы, путем заливки теста в пластиковые формы диаметром 28 и высотой 25 мм. Сроки схватывания теста определяли непосредственно в форме путем надреза поверхности тонким лезвием. Образцы твердели в нормальных воздушно-влажных условиях 7 суток, по истечению которых определяли их прочность на торцевое сжатие.

В таблице приведены составы и свойства теста и камня на его основе.

Состав и свойства шлакосульфатных вяжущих

№№	Состав композиции, масс %		Водовязущее отношение	Интервал схватывания, мин	R <sub>сж</sub> , 7сут, МПа
	Шлак	Сульфатная добавка			
1*	Шлак 1, 100 %	—	0,37	25–30	2,3
2	Шлак 1, 100 %	—	0,37	25–30	17,6
3	Шлак 1, 90 %	Фторангидрит, 10 %	0,36	25–30	27,1
4	Шлак 1, 90 %	Дигидрат, 10 %	0,35	25–30	16,6
5*	Шлак 2, 100 %	—	0,38	1–2	1,6
6	Шлак 2, 100 %	—	0,30	< 1	—
7	Шлак 2, 90 %	Дигидрат, 10 %	0,30	1–2	7,6
8	Шлак 2, 80 %	Дигидрат, 20 %	0,30	1–2	28,5
9	Шлак 2, 90 %	Фторангидрит, 10 %	0,30	1–2	19,2
10	Шлак 2, 50 %	Фторангидрит, 50 %	0,30	2–3	27,9
11**	Шлак 2, 70 %	Фторангидрит, 30 %	0,30	2–3	28,2
12	Шлак 2, 90 %	Ангидрит, 10 %	0,33	1–2	6,06
13	Шлак 2, 80 %	Ангидрит, 20 %	0,33	3–5	14,02
14	Шлак 2, 70 %	Ангидрит, 30 %	0,33	6–8	40,00
15	Шлак 2, 60 %	Ангидрит, 40 %	0,33	5–7	32,99
16	Шлак 2, 50 %	Ангидрит, 50 %	0,33	8–11	30,44
17	Шлак 2, 40 %	Ангидрит, 60 %	0,33	9–12	27,73

\* – шлак немолотый

\*\* – шлак молотый + немолотый, 50:50

Кроме того, изучали возможность замедления сроков схватывания шлакосульфатной композиции дефекатом – отходом сахарного производства. В настоящее время дефекат направляется в отвал, занимая полезные площади, при высыхании дефеката образуется пыль, ухудшающая экологическую обстановку. Отход содержит около 50 % CaO (в виде CaCO<sub>3</sub>), 3 % SiO<sub>2</sub> (в виде кварца), 1 % MgO и около 1,5 % других оксидов. Добавка дефеката незначительно увеличивает сроки схватывания шлакосульфатной композиции, но в то же время добавка 3 % уменьшает прочность образцов в возрасте 7 суток.



По данным исследований состав 10 можно рекомендовать для кладочных и отделочных растворов, а составы 14, 15 – для получения шлакового вяжущего в шлакобетонах. Кроме того, на основе шлакового вяжущего можно получать искусственный пористый заполнитель, аналог безобжигового зольного гравия. Имеются данные, что шлаковое вяжущее в бетонах на шлаковом безобжиговом гравии более эффективно в применении, нежели цементное. Подобные композиции окажутся востребованными при изготовлении мелких стеновых камней по конвейерной технологии или для получения крупноразмерных конструкций на полигонах. Весьма важно, что их твердение протекает в ускоренном режиме и не нуждается в термообработке.

В результате исследования установлена возможность использования молотых дисперсных шлаков дуговых сталеплавильных печей для получения прочных, быстротвердеющих композиций, включающих сульфатные техногенные активизаторы – отработанные гипсовые формы и отходы производства фтористых соединений. Мы предлагаем несложную технологию производства шлаковых вяжущих, низкую себестоимость (ресурсо- и энергосбережение) и сравнительно высокие строительно-технические свойства получаемых композиций. Перспективы эффективного применения таких вяжущих в значительной степени зависят от решения проблемы подбора добавок, способных замедлить структурообразование шлакосульфатного камня без ущерба для его прочности.

## **ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР ИНДУКТОРНОГО ТИПА ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕЛКОЙ ФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ЛОМА**

*Кубиков А.П., Липин А.В., Коняев И.А.  
УрФУ, [konyaev@ustu.ru](mailto:konyaev@ustu.ru)*

Разработка ресурсосберегающих технологий является одним из приоритетов в развитии промышленности. В частности, задачи энерго- и ресурсосбережения решаются при разработке технологий сбора и обработки вторичных цветных металлов. В данной работе речь пойдет о создании технологических установок по переработке электронного лома, количество которого с каждым годом увеличивается [1]. В отходах электронного оборудования содержится много ценных материалов, таких как, медь, алюминий, нержавеющая сталь, золото, серебро, платина и др., и при утилизации такого оборудования нельзя допускать потери этих материалов. Электронный лом является богатым источником сырья: в тонне отходов содержится драгоценных металлов в сто раз больше, чем в руде первичного сырья. В то же время переработка электронного лома требует множества различных технологических операций. Количество ступеней в технологической цепочке может быть больше десяти. Упростить технологию переработки и одновременно улучшить качество получаемых полезных продуктов позволяет использование на начальных стадиях обработки установок электродинамической сепарации.

Значительную часть электронного лома составляют миниатюрные узлы и изделия (контактные элементы, микросхемы и другие радиодетали). В этом случае для раскрытия отдельных материалов при дроблении электронного лома приходится уменьшать размеры частиц измельченного продукта до 1 мм и менее. Как известно [2], для извлечения частиц цветных металлов из смешанных отходов при такой крупности целесообразны электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем индукторного типа. Один из вариантов таких сепараторов схематично показан на рис. 1. Вращение зубчатого ротора в поле электромагнита постоянного тока позволяет получить в активной зоне за счет модуляции зазора необходимую частоту бегущего магнитного поля (несколько килогерц).

Одним из достоинств рассматриваемых электродинамических сепараторов является то, что установки могут быть изготовлены на базе узлов серийных электрических машин. В частности, на базе необмотанного ротора машины постоянного тока была создана лабораторная установка, конструкция которой соответствует рис. 1. Диаметр ротора составляет 110 мм, ширина полюса – 20 мм, воздушный зазор под полюсом – 4...5 мм. Испытания электродинамического сепаратора показали, что извлечение медных и алюминиевых частиц крупностью 1 мм достигается при значениях индукции магнитного поля, модулированного в активной зоне, 0,05 Тл и частоте магнитного поля около 2,5 кГц. Однако данная установка оказалась неудобна для апробации реальных технологических задач по сортировке электронного лома из-за небольших размеров активной зоны, ограничивающих производительность установки, и невозможности дальнейшего увеличения индукции магнитного поля. Кроме того, анализ измельченных фракций электронного лома, предоставленного предприятием – заказчиком, показал необходимость регулирования размеров активной зоны сепаратора, что не было предусмотрено в существующей установке.

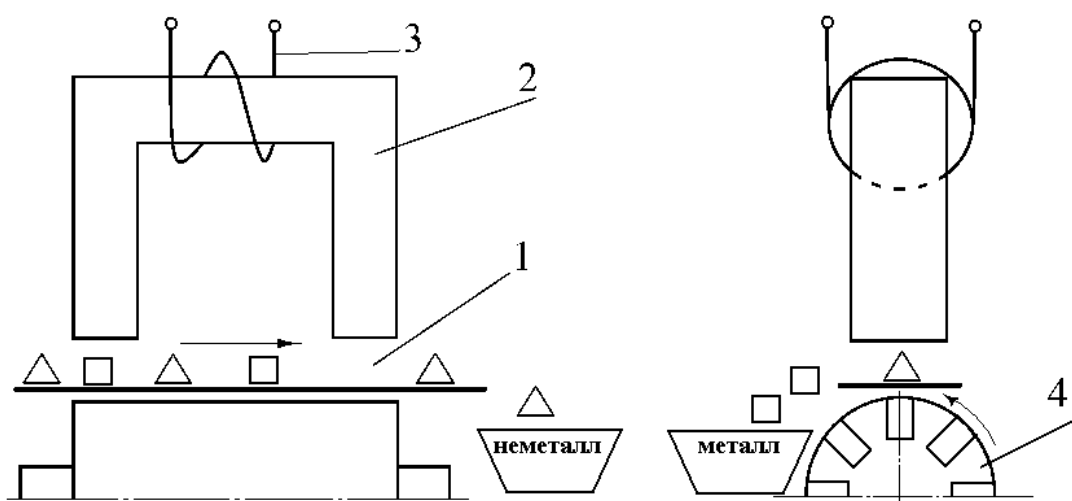


Рис. 1. Схема электродинамического сепаратора индукторного типа:  
1 – активная зона; 2 – магнитопровод; 3 – обмотка; 4 – зубчатый ротор

Для преодоления указанных недостатков разработана новая установка электродинамической сепарации индукторного типа на базе зубчатого ротора диаметром 186 мм. Увеличение габаритов установки позволило модернизировать магнитопровод индуктора и увеличить размеры активной зоны. Конструкция новой установки схематично показана на рис. 2.

Новая конструкция магнитопровода позволяет уменьшить сопротивление магнитной цепи, поскольку воздушные зазоры по горизонтальной оси ротора могут быть выполнены минимально допустимыми. Кроме того, при вертикальном перемещении магнитной системы магнитные сопротивления этих воздушных зазоров не изменяются. При этом появляется возможность регулировать высоту воздушного зазора в активной зоне сепаратора специальным подъемным механизмом.

Увеличение размеров и мощности обмотки возбуждения наряду со снижением сопротивления магнитной цепи позволят достигать больших, чем в установке – прототипе, значений индукции магнитного поля. За счёт увеличения длины активной зоны увеличивается время пребывания частицы в рабочей зоне. Все это позволяет увеличить электромагнитные усилия, действующие на извлекаемые металлические частицы, повысить эффективность установки и поднять ее производительность. Возможность регулирования высоты воздушного зазора в активной зоне делает установку более универсальной, так как можно подстраивать её параметры по размерам частиц обрабатываемого электронного лома.

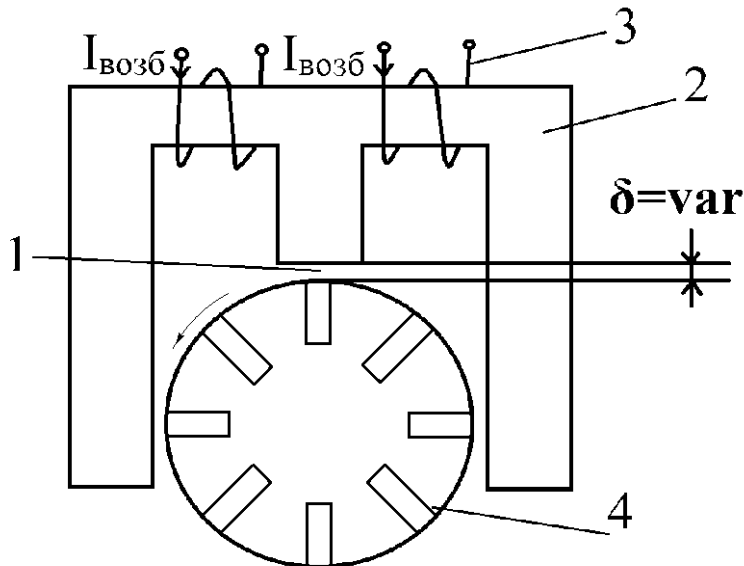


Рис. 2. Схема модернизированной установки: 1 – активная зона; 2 – магнитопровод; 3 – обмотка возбуждения; 4 – зубчатый ротор

Проводимые исследования подтверждают возможность создания эффективных технологий переработки электронного лома с использованием в технологической цепочке установок электродинамической сепарации для предварительного

разделения фракций цветных металлов. Планируется продолжение исследований на материалах, предоставленных предприятием – заказчиком.

#### Библиографический список

1. Цыпин Е.Ф. О переработке электронного лома и отходов // Известия вузов. Горный журнал. 1997. № 11-12. С. 233-239.
2. Электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем: основы теории и расчета / А.Ю. Коняев, И.А. Коняев, Н.Е. Маркин, С.Л. Назаров. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 104 с.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННОГО ЛОМА

*Кузьмина Н.С., Якушев Н.С., Казанцев Р.О., Коняев А.Ю.  
УрФУ, [konyaev@ustu.ru](mailto:konyaev@ustu.ru)*

При переработке металлосодержащих отходов и при сортировке лома цветных металлов широкое применение могут находить электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем, работающие по принципу линейных асинхронных двигателей. Извлекаемые из смесей материалов немагнитные проводящие тела играют при этом роль вторичного элемента линейных двигателей. Одной из наиболее востребованных задач такого рода становится переработка электронного лома с целью извлечения и вторичного использования содержащихся в нем благородных и цветных металлов [1].

По заказу одного из предприятий, занимающихся переработкой лома и отходов радиоэлектронных и электротехнических изделий, на кафедре «Электротехника и электротехнологические системы» УрФУ выполняются исследования и разработки электродинамических сепараторов с бегущим магнитным полем. В исследовательской лаборатории кафедры созданы опытные установки сепарации, отличающиеся конструкцией индукторов, создающих магнитное поле, и способами подачи и отвода обрабатываемых материалов. Одна из таких установок схематично показана на рис. 1.

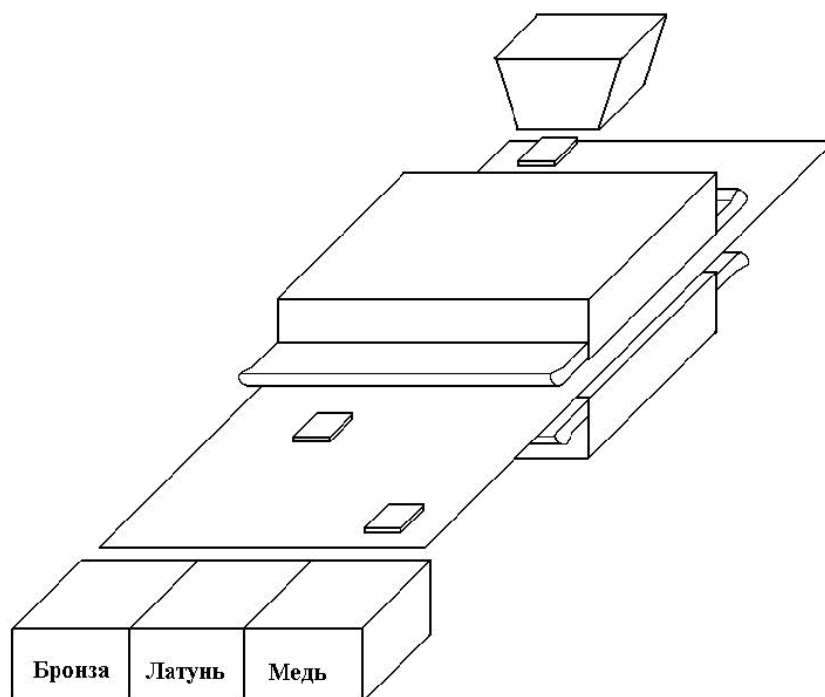


Рис. 1. Схема опытного электродинамического сепаратора для сортировки отходов цветных металлов

Бегущее магнитное поле создается двухсторонним линейным индуктором, питаемым трехфазным переменным током частотой 50 Гц. Разделяемые смеси материалов, предварительно отсортированные по крупности кусков, подаются в зону сепарации по наклонной плоскости. При взаимодействии с бегущим магнитным полем частицы немагнитных цветных металлов получают ускорение, направленное поперек линии подачи. Величина такого ускорения зависит от соотношения электропроводности металла и его удельного веса. Металлы и сплавы, отличающиеся по указанному показателю, собираются на выходе установки в разные приемники продуктов сепарации. Описанная установка целесообразна при крупности кусков металлических отходов 10-20 мм.

В задачу авторов, принимавших участие в исследованиях описанного сепаратора, входила экспериментальная оценка характеристик сепарации при испытаниях установки при обработке отходов электронного лома, предоставленных предприятием – заказчиком. Качество сепарации удобно оценивать традиционными для обогащительных технологий показателями: извлечение полезного продукта в концентрат ( $\epsilon$ ) и содержание его в концентрате ( $\beta$ ).

В процессах сепарации на извлекаемые проводящие тела помимо электромагнитных сил действуют конкурирующие механические силы (гравитации, трения, динамического сопротивления среды и др.), величина которых зависит от многих случайных факторов. Кроме того, в случае малых размеров извлекаемых частиц величина действующих на них электромагнитных усилий отталкивания, боковых усилий и вращающих моментов становится соизмеримым с действием продольной силы – силы извлечения, что обуславливает сложный и неоднозначный характер движения предметов. Возрастает влияние на результат случайных факторов: форма предметов и их ориентация в поле, состав сепарируемой смеси, влажность и т.п. Все это снижает повторяемость результатов экспериментов.

По указанным причинам при экспериментальных исследованиях устройств электродинамической сепарации мелкой фракции отходов целесообразно использование таких технологических показателей качества, как «степень извлечения полезного продукта в концентрат» (доля частиц полезного продукта в концентрате от полезного продукта в исходной смеси) –  $\epsilon_k$  и «содержание полезного продукта в концентрате» (доля частиц полезного продукта среди всех частиц в концентрате) –  $\beta_k$ . Технологические показатели удастся получить с помощью серии статистических экспериментов. Строгость их экспериментальной оценки обеспечивается применением статистических методов при математической обработке неоднократно проделанных опытов [2-3].

Указанные показатели определялись по результатам взвешивания проб исходного материала и выделенных фракций на электронных весах ВНЛ-500. В качестве математического ожидания определяемых показателей принималось их среднеарифметическое значение. Кроме того, рассчитывались дисперсия ( $D$ ), среднеквадратическое отклонение ( $S$ ) и доверительные границы относительной погрешности результата ( $\Delta$ ). Расчет таких показателей позволяет контролировать погрешность получаемых оценок, а также накапливать результаты экспериментов и уточнять математические ожидания показателей при обработ-

ке новых серий экспериментов. В частности, математическое ожидание оцениваемой величины в этом случае определяется по формуле

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{X}_j \cdot k_j}{\sum_{j=1}^m k_j},$$

в которую результаты отдельных серий  $\bar{X}_j$  входят с весовыми коэффициентами  $k_j$ , обратно пропорциональными соответствующим дисперсиям  $D_j$ .

Авторами выполнены исследования описанной ранее установки для фракций электронного лома крупностью 10-20 мм. Проба исходного материала составляла 150 г. При этом в пробе содержалось 62 % алюминиевых сплавов и 34,7 % медных сплавов (по массе). Объемные доли соответственно составили 83,1 % и 14,0 %. Иных материалов (пластмассы, немагнитная сталь и др.) было около 3,0 %.

После серии экспериментов по электродинамической сепарации выбранной пробы электронного лома получены следующие результаты (приведены массовые доли):

- степень извлечения алюминиевых сплавов в концентрат –  $\varepsilon_{Al} = 84,1\%$ ;
- содержание их в концентрате –  $\beta_{Al} = 84,6\%$ ;
- степень извлечения медных сплавов (в хвостах) –  $\varepsilon_{Cu} = 73,3\%$ ;
- содержание их в хвостах –  $\beta_{Cu} = 66,1\%$ .

После извлечения алюминия масса оставшихся материалов уменьшилась почти в 3 раза. При этом объемная доля медных сплавов в смеси, подвергаемой дальнейшей переработке, увеличилась с 14 % (в исходной смеси) до 39 %. Полученные результаты удовлетворяют техническим требованиям предприятия – заказчика и позволяют реализовать последующую эффективную энерго- и ресурсосберегающую переработку отдельных фракций. Лабораторная установка электродинамической сепарации может быть принята в качестве прототипа для разработки и создания промышленного сепаратора для обработки электронного лома крупностью 10-20 мм. Исследования процессов сепарации электронного лома продолжается с целью дальнейшего улучшения энергетических и технологических показателей.

#### *Библиографический список*

1. Цыпин Е.Ф. О переработке электронного лома и отходов // Известия вузов. Горный журнал. 1997. № 11-12. С. 233-239.
2. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971. 192 с.
3. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 288 с.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ФУСОВ НА ОАО «ГУБАХИНСКИЙ КОКС»

Мальцева О.В., Белоусова О.А.  
УрФУ

При уносе коксовым газом мелких частиц угля в каменноугольную смолу попадают минеральные примеси, обнаруживаемые в ней в виде золы. Количество их колеблется в пределах 0,05-0,2 %, это так называемые фусы. При переработке смолы зола полностью переходит в пек, а содержание золы в смоле и пеке должно быть строго ограниченным (ГОСТ 10200–83). Пек применяется преимущественно в производстве электродов, зольность которых не должна превышать 0,3 %.

При переработке смолы от работы одной батареи в цехе улавливания образуется порядка 4 т/сут. фусов – отходов второго класса опасности, которые законом РФ запрещено размещать на открытых площадках, складах временного хранения без дальнейшей переработки.

Ранее на Губахинском предприятии велась работа по вторичному использованию фусов в процессе коксования, был выделен ряд проблем:

- при выводе фусов из механических осветлителей выводилась большая часть свободного углерода (нерастворимая в толуоле часть смолы), определяющая количество пека (примерно на 30 %);
- использование фусов в подготовке шихты из-за высокого содержания углеводородов и аммиака требует дополнительных капитальных вложений в реконструкцию вентиляции всего углеподготовительного цеха. Фусы имеют сильный запах аммиака и ароматических углеводородов;
- в связи с большим содержанием смолистых веществ происходило налипание фусов на дозирующие устройства, что негативно влияло на качество подготавливаемой шихты.

Для решения этих проблем было решено внедрить в технологическую цепь отделения конденсации техническое решение фирмы «Flottweg», т.е. установить трикантер (рис. 1), что позволило решить ряд проблем:

- обезводить каменноугольную смолу,
- очистить смолу от механических включений, т.е. фусов,
- получить обезвоженные фусы для утилизации,
- сократить емкостной парк и затраты на его содержание,
- автоматизировать процесс разделения фаз.

Трикантер – горизонтальная центрифуга, с трехфазным разделением. Тяжелая жидкая фаза на «Flottweg»-трикантере отводится под давлением через регулируемый диск разделения фаз, а легкая фаза – самотеком. Плавно регулируемый эксцентриковый диск (импеллер) дает возможность быстро и точно регулировать положение границы раздела двух жидкостей в процессе работы. Тем самым достигается максимально возможная степень очистки жидкостей. После выхода центрифуги на рабочие параметры получено стабильное содержание влаги не более 2 % и содержание золы 0,08 %.

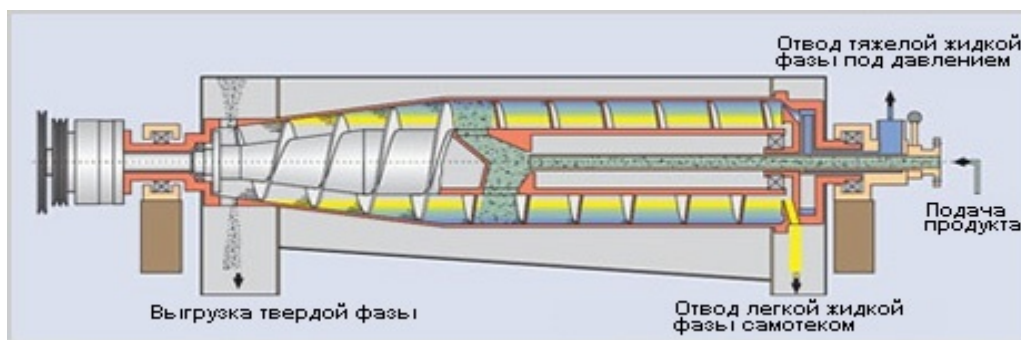


Рис. 1. Трикантер

Третья фаза после трикантера – фусы, самосвалом вывозятся по графику на открытый угольный склад и примешивается к угольному концентрату. Такое примешивание не дает равномерного, качественного смешения фусов и угля, что сказывается на качестве угольной шихты.

Для решения проблемы равномерной подачи фусов в шихту предлагается фусы после трикантера вывозить также автотранспортом и подавать в обогреваемый бункер (с обогревом примерно до 40-60 °С). Затем фусы в концентрации до 0,1 % от шихты подавать шнековым питателем на транспортер У-21Р в шихту (рис. 2).

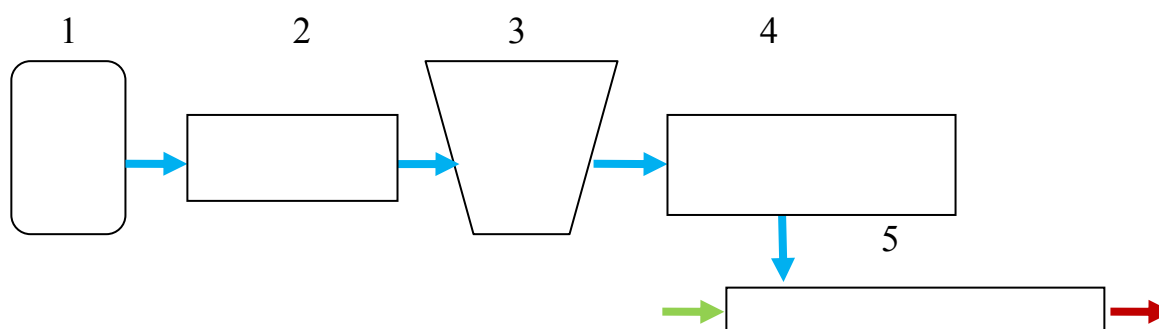


Рис. 2. Схема подготовки отходов

1 – трикантер, 2 – автомашина, 3 – дозировочный бункер, 4 – шнековый питатель, 5 – транспортер У-21Р ( → Фусы → Шихта → Смесь)

Для фусов, представляющих собой слаботекучую густую массу, предлагается в качестве хранилища использовать обогреваемый бункер с жестко закрепленным на выходе шнековым питателем. Бункер оснащен лебедкой для открытия и закрытия крышки, расположен вне здания. Для обогрева бункера планируется использование автоматизированной установки электромастляного нагрева.

Шнековый питатель обеспечит частичное перемешивание одновременно с транспортированием и дозировкой фусов. Для улучшения подачи фусов используется мундштук на 15 мм, прикрепленный к месту выдачи материала.

Количество фусов по сравнению с объемом шихты незначительно, и при дальнейшем движении шихты, при перегрузках смешение будет равномерным. В использовании дополнительного смесителя нет необходимости, так как транс-



портировка шихты (и находящихся в ней фусов) по имеющимся транспортерам с четырьмя перегрузами обеспечит достаточное смешивание.

Вывод. В настоящее время добавление фусов в шихту на предприятии производится неравномерно, на открытом угольном складе. Предложено осуществлять непрерывную подачу отходов (фусов) на ленту конвейера с угольной шихтой. Выбрано аппаратное оформление для подачи фусов в шихту в углеподготовительном цехе, которое обеспечит эффективное распределение фусов в угольной шихте и повышение равномерности показателей её качества, в частности, спекаемости. Предусмотрено использование автоматизированного электромагнитного нагрева бункера для хранения и дозирования фусов.

Предлагаемая схема позволяет автономно утилизировать генерируемые твердые отходы (фусы) предприятия, что обеспечит полную утилизацию отходов второго класса опасности и получение дополнительного количества кокса.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОВЫВОДНОГО ПОЛИМЕРА В ПРОИЗВОДСТВЕ СУВЕНИРНОЙ ПРОДУКЦИИ И ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

*Мирсаитова С.М., Кулакова И.С., Сергеева К.Е.  
УрФУ, raksha\_intel@mail.ru*

*Введение.* Изготовление ювелирного изделия начинается с создания мастер-модели. Она выполняется из металла, воска, полимерной массы. На протяжении всего процесса производства этот этап является важнейшим, именно здесь закладываются геометрические размеры и формы. Дефекты, возникающие на этой стадии, должны быть устранены, иначе в дальнейшем придется исправлять каждую работу в отдельности, а это займет большое количество времени, а также потребует дополнительных ресурсов.

Процесс создания мастер-модели изделия весьма трудоемкий. Мы считаем, что оптимальным способом экономии времени и ручного труда является сокращение затрат на стадии изготовления именно мастер-модели.

Использование современных компьютерных технологий также значительно облегчает роль человека в производстве.

В связи с этим, можно прийти к выводу, что соединение описанных выше процессов приведет к оптимизации производства. Этого можно добиться благодаря применению фотовыводного полимера.

Эта технология широко применяется в полиграфии, однако не апробирована в производстве ювелирных изделий.

Описываемая технология имеет ряд весомых преимуществ:

- значительная экономия времени;
- идеальное повторение заданной формы;
- точность и четкость получаемого изображения;
- экономия энергетических, материальных ресурсов и денежных средств.

*Целями* данного способа являются:

- разработка эффективного, энергетически и экономически выгодного метода изготовления мастер-модели в производстве сувенирной продукции и ювелирных изделий;

- повышение уровня точности мастер-модели;

- устранение возможности появления дефектов при изготовлении мастер-модели.

*Задачами* данной работы являются:

- Изучение процесса производства малогабаритных изделий способом литья;

- изучение неточностей и дефектов, проявляющихся в процессе создания изделия;

- поиск путей оптимизации и устранения дефектов.

*Этапы реализации* технологии характеризуются следующим:

Процесс создания рельефа на фотовыводном полимере требует одинаковых временных затрат, независимо от сложности наносимого изображения.

Отправной точкой в создании будущей пластины является моделирование двухцветного изображения (черно-белого) в графическом редакторе. Пластина представляет из себя стальную подложку с нанесенным на нее полимером толщиной от 0,4 до 1,5 мм. Распечатанное на жесткой прозрачной пленке изображение накладывается на полимер, после чего засвечивается мощными ультрафиолетовыми лампами. Площади, находящиеся под черной краской, не засвечиваются и в дальнейшем вымываются водой.

Готовая пластина является мастер-моделью, идеально повторяющей контуры монохромного изображения.

Необходимо отметить, что при сочетании плоского изображения с объемными восковыми фигурами, появляется возможность создания самых разнообразных по сложности изделий.

В результате разработанная технология применения фотовыводного полимера при производстве сувенирной продукции и ювелирных изделий эффективна при изготовлении как больших, так и малых тиражей.

*Критерии оценки эффективности* метода:

- *Трудоемкость.* При использовании описываемой технологии человеческие усилия сведены к минимуму. Самым трудозатратным является создание изображения в графическом редакторе.

- *Энергетические, материальные, денежные затраты.* Основные затраты: ультрафиолетовые лампы, обеспечение их кратковременного использования, пластинки, пленка. Печать может быть произведена на стандартном принтере, приобретение специального оборудования не требуется. Таким образом, денежные затраты могут быть сведены к минимуму.

- *Временные затраты.* Большая часть времени уделяется созданию изображения в графическом редакторе. Данный фактор упрощается при высокой квалификации и профессионализме дизайнера. Также возможно применение готовых эскизов.

- *Качественные показатели.* Готовая модель отличается высокой четкостью и точностью линий.
- *Появление новых возможностей.* Возможность создания двухуровневых плоских изображений любой формы и сложности.

Таким образом, технология применения фотовыводного полимера является уникальной и позволяет, при значительном сокращении временных и ресурсных затрат, получить широкий спектр графических и технологических возможностей.

## **СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЛАНЦЕПЕРЕРАБОТКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

*Мракин А.Н.*

*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.,  
anton1987.87@mail.ru*

По запасам горючих сланцев Россия занимает третье место в мире, уступая лишь США и Бразилии. На территории Волго-Печорской сланценосной провинции находится ряд крупнейших месторождений. Так, в Саратовской области расположен ряд месторождений, общие запасы которых оцениваются более 10 млрд т. Поэтому промышленное освоение этих запасов с вовлечением горючих сланцев в экономику Саратовской области и всего Поволжского региона уже давно является актуальной научно-технической и народно-хозяйственной задачей, требующей скорейшего начала практической реализации. Эта задача приобретает особое значение в настоящее время в связи с реализацией общенациональных проектов и программы энергетической безопасности России с диверсификацией топливно-сырьевой базы промышленности.

Положительный опыт использования горючих сланцев имеется в Эстонии, Германии, Израиле, Китае и ряде других стран. В нашей стране такой опыт имеется в Ленинградской области (г. Сланцы), однако, характерной особенностью Поволжских сланцев является высокое содержание серы (достигающее 4-5 % на сухую массу), что, с одной стороны, затрудняет их прямое использование в качестве топлива, а с другой, делает уникальным органоминеральным сырьем для получения дефицитных органических продуктов, содержащих серу [1].

Анализ особенностей образования, залегания и добычи показывает, что практическое использование имеющихся в Саратовской области запасов горючих сланцев может быть осуществлено по следующим основным направлениям [2]:

1) Использование натурального сланца в составе комплексных удобрений сельскохозяйственного назначения или шихтовых смесей при производстве резинотехнических и эбонитовых изделий.

2) Переработка сланца на топливо для большой и малой энергетики (газификация под давлением в комбинации с парогазовыми установками (ПГУ) с получением в качестве побочных продуктов серы и фракций серосодержащей

смолы; пирогазификация; на основе метода сжигания в циркулирующем кипящем слое).

3) Использование сланца в качестве органоминерального сырья для производства ценных и дефицитных сераорганических продуктов.

Разработанные ранее схемные решения и аппаратное оформление процессов термохимической переработки были ориентированы на горючий сланец карьерной, либо шахтной добычи. Однако, применение этих способов для реализации пилотных проектов нецелесообразно, поскольку эти способы значительно удорожают сланец и оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Специалистами ООО «Перелюбская горная компания» разработан инновационный способ бесшахтной добычи с применением передвижных модулей без отвалов вскрышных и межпластовых пород, без откачки минерализованных пластовых вод на поверхность. Разработанная технология позволяет осуществлять разработку многопластовых месторождений, представленных тонкими, продуктивными слоями. Особенностью добываемого сланца является его фракционный состав, что требует разработки и применения специальных технологий термохимической конверсии сланца размером до 1,5 мм [3]. К тому же современные механизированные способы добычи существенно увеличивают образование сланцевой мелочи, что сказывается как на технологии использования горючих сланцев, так и на схемно-параметрических решениях, принимаемых для основного и вспомогательного оборудования.

Ориентируясь на мелкофракционный состав добываемого передвижными модулями сланца, необходимо говорить о реакторах с пылегазовым потоком, в котором интенсифицируются тепло- и массообменные процессы, осуществляется скоростной нагрев частиц, многократно увеличивается поверхность взаимодействия взвешенных в потоке частиц с компонентами газовой смеси. В СГТУ имени Гагарина Ю.А. предложена установка переработки пылевидного Поволжского сланца в газ на базе технологии пирогазификации (рис. 1) [4].

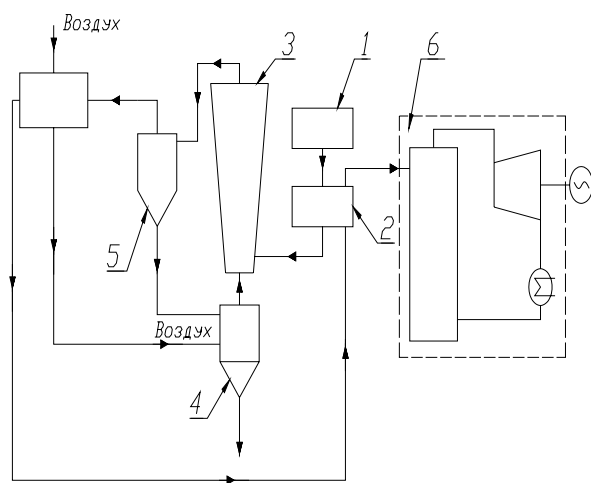


Рис.1. Установка термохимической переработки горючих сланцев на базе реакторов пирогазификации:  
1 – склад сланца; 2 – блок подготовки сланца; 3 – реактор пирогазификации;  
4 – циклонная топка; 5 – циклон;  
6 – энергоблок

При переработке Перелюб-Благодатовского горючего сланца при конечной температуре процесса 750 °С получается газ следующего средневзвешенного

состава, об. %:  $\text{CO}_2=12,1$ ;  $\text{H}_2\text{S}=0,8$ ;  $\text{C}_n\text{H}_m=4,6$ ;  $\text{CO}=11,1$ ;  $\text{H}_2=10,7$ ;  $\text{CH}_4=10,9$ ;  $\text{N}_2=49,8$ . Теплота сгорания  $9168 \text{ кДж/м}^3$ .

Выбор данного метода обусловлен тремя основными факторами:

- простота схемы – отсутствует необходимость дальнейшей переработки продуктов пирогазификации, что ведет к резкому снижению капиталовложений, повышению надежности установки и упрощению выбора оптимальных режимных параметров;
- при данной температуре нагрев частиц сланца происходит в режиме теплового удара с последующим образованием летучих продуктов в виде пирогаза, пригодного для сжигания в стандартных энергетических установках;
- также по результатам исследования, выбор данной температуры необходим для протекания процессов разложения карбонатов с образованием оксидов металлов, с последующим, практически полным, улавливанием сероводорода при связывании последнего с оксидами металлов – отсутствует необходимость в сложном процессе сероочистки.

Лабораторные исследования подтверждают эффективность термохимической переработки горючих сланцев. Однако, технологические режимы процесса в условиях, близких к промышленным, еще не исследовались. Последующая промышленная реализация предлагаемой технологии позволит на основе комплексной переработки Поволжских сланцев получать широкий спектр энергоносителей для энергообеспечения промышленных и коммунально-бытовых потребителей.

#### *Заключение*

1. Исследования процессов термохимической конверсии являются первым этапом, необходимым для разрешения проблемы вовлечения горючих сланцев в экономику Поволжского региона.

2. Исходя из характерного состава органической и минеральной частей сернистых сланцев Волго-Печорской сланценосной провинции, определена принципиальная схема головного процесса термической переработки, учитывающая современное состояние, особенности и научно-технические проблемы сланцеперерабатывающей промышленности.

3. Работы необходимо продолжить в направлении интеграции разработанной установки с элементами автономных систем энергоснабжения (паровыми и водогрейными котлами, газотурбинными и газопоршневыми установками, топливными элементами и пр.).

4. В результате дальнейших научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ должны быть получены методические положения инженерного проектирования и подбора основного и вспомогательного оборудования.

#### *Библиографический список*

1. Каширский В.Г., Коваль А.А. Горючие сланцы Поволжья: прошлое, настоящее, будущее. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2007. 156 с.
2. Симонов В.Ф., Семенов Б.А., Прелатов В.Г., Левушкина Л.В. Проблемы и перспективы рационального использования потенциала горючих сланцев Поволжского региона // Проблемы энерго- и ресурсосбережения: сб. науч. трудов. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2007. С. 78-83.

3. Атоян Э.М., Семенов Б.А., Назаров С.С. Технологическая схема переработки горючих сланцев Поволжья, адаптированная к способу добычи передвижными модулями // Проблемы теплоэнергетики: сб. науч. трудов. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. С. 224-229.
4. Разработка научных основ пирогазификации пылевидного сернистого сланца Поволжья для использования в малой энергетике: Отчет о НИР / Сарат. гос. техн. ун-т имени Гагарина Ю.А.; Руководитель Б.А. Семенов. № ГР 01201153080. Саратов, 2011. 124 с.

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИКАЦИИ ДРЕВЕСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА**

*Назипова Ф.В., Данилова Р.В., Сафин Р.Р.*

*Казанский национальный исследовательский технологический университет  
reginka.danilova@mail.ru*

В последние годы все более возрастающий интерес приобретают древесно-наполненные композиционные материалы, в которых могут найти свое дальнейшее использование отходы деревообрабатывающих производств. Поэтому актуальной задачей является повышение эксплуатационных свойств композитов, в частности, путем модифицирования древесины. Недостатками древесины как композиционного наполнителя является ее низкая биостойкость и достаточно высокая гигроскопичность, что приводит к снижению механических характеристик композиционного материала в целом.

Для повышения качества и устойчивости древесного наполнителя к различным воздействиям предлагается применение термической обработки древесного сырья в среде инертных газов.

Предложенный способ термической обработки целесообразно проводить в камерах барабанного типа, поскольку они нашли широкое применение в деревообрабатывающей промышленности. Термомодифицирование древесного сыпучего сырья проводят в камере термомодифицирования, в котором материал нагревается до температуры 200 °С без доступа кислорода воздуха. При этом подвод тепловой энергии к древесному сырью происходит как конвективно (в полете), так и контактным методом (в завале). Повышение температуры материала до заданного значения приводит к термическому разложению компонентов древесины – гемицеллюлозы.

Благодаря вращению аппарата и ковшам внутри камеры, древесное сырье постоянно перемешивается, что позволяет провести равномерную термическую обработку материала. Объем частиц, захватываемых ковшами, определяется формой и размером последних.

Пересыпание частиц материала в барабане происходит сверху на слой материала, находящийся в нижней части аппарата. В то же время часть материала непосредственно контактирует с нагретой поверхностью. В зоне контакта этого материала с поверхностью происходит передача теплоты и за счет этого термомодифицирование пристенного слоя. Все частицы материала этого слоя находятся в контакте с нагретыми элементами барабана до следующего цикла пересыпания.

По мере продвижения частиц по длине аппарата происходит их полное термомодифицирование. После выгрузки из барабана древесное сырье охлаждается.

Для одномерной картины установившегося процесса термической обработки древесных частиц, пренебрегая теплопроводностью среды, вследствие достаточно высокой скорости ее движения, уравнение энергии для среды можно представить в следующем виде

$$W_l \frac{\partial T}{\partial l} = -\alpha [T_{cp} - T_m] F^* + k \cdot \rho_m \cdot q. \quad (1)$$

Тепловой баланс для частиц, находящихся

– в полете:

$$dQ^1 - dQ^2 = dQ^3, \quad (2)$$

– в завале:

$$dQ^4 - dQ^5 = dQ^6, \quad (3)$$

где  $dQ^1 = \alpha(T_{cp} - T_m)F^*$  – количество тепла, конвективно поступающего к частицам в единицу времени;  $dQ^2 = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} S$  – количество тепла, определяющееся теплопроводностью от стенки к частицам в завале в единицу времени;  $dQ^3 = k \cdot \rho_m \cdot q$  – количество тепла, потраченное на удаление продуктов разложения в единицу времени;  $dQ^4 = V_{op} c_{op} \rho_{op} \frac{dT}{dl} W$  – количество тепла, затраченное на изменение внутренней тепловой энергии в единицу времени.

Отсюда, тепловые балансы запишем в следующем виде

$$\alpha(T_{cp} - T_m)F^* - k \cdot \rho_m \cdot q = V_{op} c_{op} \rho_{op} \frac{dT}{dl} W. \quad (4)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} S - k \cdot \rho \cdot q = V_{op} c_{op} \rho_{op} \frac{dT}{dl} W. \quad (5)$$

После некоторых преобразований получаем изменение температуры материала по длине барабана для частиц, находящихся

– в полете

$$W_{д.ч.} \frac{\partial T}{\partial l} = \frac{\alpha(T_{cp} - T_m)F^* + k \cdot \rho_m \cdot q}{c \cdot \rho \cdot V_{дрвполете}}, \quad (6)$$

– в завале

$$W_{д.ч.} \frac{\partial T}{\partial l} = -\frac{\lambda \cdot S}{c_{op} \cdot \rho_{op} \cdot V_{дрвзавале}} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{k \cdot \rho \cdot q}{c_{op} \cdot \rho_{op} \cdot V_{др}}. \quad (7)$$

Отсюда, изменение средней температуры и плотности частиц по длине барабана можно представить в следующем виде

$$\frac{d\bar{T}}{dl} = \frac{m_{дрвполете}}{m_{дробщ}} \left( \frac{dT_{мвполете}}{dl} \right) + \frac{m_{дрзавале}}{m_{дробщ}} \left( \frac{dT_{мвзавале}}{dl} \right). \quad (8)$$

$$W_{д.ч.} \frac{d\rho}{dl} = k \cdot \rho_m. \quad (9)$$

Время нахождения частиц в ковше зависит от угловой скорости и угла поворота осыпания  $\alpha$  (рис. 1)

$$\tau = \frac{\pi\alpha}{180 \cdot \omega} \quad (10)$$

Угол поворота осыпания равен углу между линией, проходящей через грань ковша, и горизонтом. Он больше или равен углу естественного откоса древесных частиц.

Отсюда, масса древесных частиц, ссыпающихся с ковша за единицу времени

$$\frac{\partial m_{\text{ссып.др-ны}}}{\partial \tau} = \frac{m_{\text{загр.вковш}} \cdot 180 \cdot \omega}{\pi\alpha} \quad (11)$$

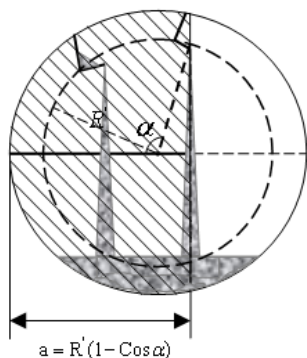


Схема для расчета средней высоты осыпания частиц

Для нахождения количества частиц, находящихся в полете, необходимо определить высоту падения (рисунок). Среднюю высоту падения частиц находим как площадь сегмента, деленную на основание этого сегмента. Для этого интегрируем уравнение окружности относительно величины  $y$ .

Отсюда, находим площадь, заключенную между левой крайней точкой окружности и вертикальной прямой, проходящей через точку, в которой происходит полное опустошение ковша

$$S_\alpha = \frac{R^2}{2} \left[ \arcsin(-\cos \alpha) - \cos \alpha \sqrt{1 - \cos \alpha} + \frac{\pi}{2} \right] \quad (12)$$

Тогда средняя высота падения древесных частиц

$$\bar{h} = \frac{S_\alpha}{a} = \frac{R}{2} \left[ \frac{\pi \cdot \arcsin(-\cos \alpha)}{2(1 - \cos \alpha)} - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - \cos \alpha}} \right] \quad (13)$$

Определив время падения частиц по формуле

$$\tau = \sqrt{\frac{2\bar{h}}{g}} \quad (14)$$

находим массу частиц, находящихся в полете,

$$m_{\text{вполете}} = \frac{m_{\text{загр.вковш}} \cdot 180 \cdot \omega}{\pi\alpha} \cdot \tau \quad (15)$$

Тогда масса частиц, находящихся в завале,

$$m_{\text{завале}} = m_{\text{общ}} - m_{\text{вполете}} \quad (16)$$

Представленная система уравнений позволяет описать процесс термомодифицирования древесного сыпучего сырья и определить продолжительность стадий прогрева и термомодифицирования древесных частиц, а также выявить рациональные режимные параметры исследуемого процесса.



### Библиографический список

1. Коротаев Э.И. Использование древесных опилок / Э.И. Коротаев, М.И. Клименко. М.: Лесная промышленность, 1974. 143 с.
2. Хасаншин Р.Р., Данилова Р.В. Предварительная термическая обработка древесного наполнителя в производстве ДПКМ // Вестник Казан. технол. ун-та. 2012. Т. 15. № 7. С. 62-63.
3. Сафин Р.Р., Разумов Е.Ю., Герасимов М.К., Ахметова Д.А. Исследование вакуумно-кондуктивного процесса модифицирующей термообработки древесины // Деревообрабатывающая промышленность. 2009. № 3. С. 9-11.

## РАСПЛАВЛЕННЫЕ КАРБОНАТЫ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ КАК СРЕДА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Никитина А.О., Олейник К.И.  
УрФУ, nikusa28@mail.ru

Расплавленные карбонаты щелочных металлов представляют собой низкотемпературную эвтектическую смесь. Они обладают высокой электропроводностью, способностью к электролитическому разложению, низкой плотностью и могут подвергаться эксплуатации в широком диапазоне температур. Температура их плавления примерно 490 °С.

Помимо повседневной жизни – любой мог видеть соду на кухне – расплавленные карбонаты могут применяться для переработки металлов и в качестве электролита для топливных элементов.

Для переработки вторичных ресурсов требуются значительные затраты на материалы и энергию. Важным аспектом комплексной проблемой утилизации отходов является защита окружающей среды.

Расплавленные карбонаты используются для растворения металлов, таких как свинец и алюминий, в стандартной электролитической ячейке. Ее устройство представлено на рисунке.

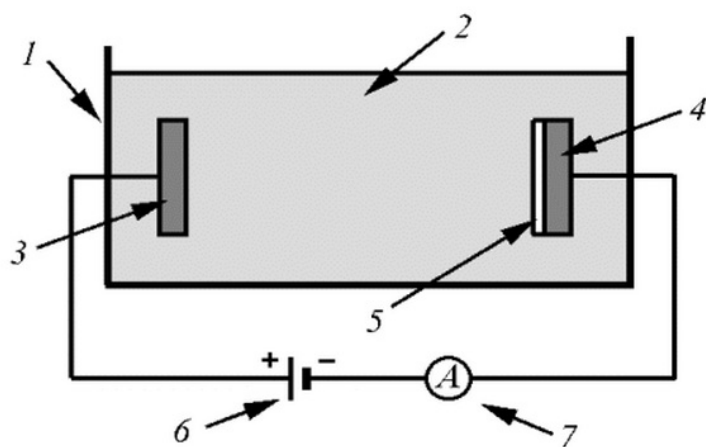


Рис. Схема электролитической ванны  
1 – ванна; 2 – электролит; 3 – анод; 4 – катод; 5 – пленка; 6 – источник питания; 7 – амперметр.

При переработке вторсырья расплавленные карбонаты щелочных металлов позволяют решить две основные задачи:

1) рациональное распределение тепловых потоков в аппарате

2) производить металл с высокой степенью чистоты и получать сплавы.

Решение указанных проблем является очень важным. Это означает, что производство металлов и сплавов из промышленных отходов и вторичного сырья в среде расплавленных карбонатов является новым направлением. При этом из технологической схемы исключается вода как растворитель, исчезает необходимость переработки жидких отходов.

Топливный элемент – электрохимическое устройство, подобное гальваническому элементу, но отличающееся от него тем, что вещества для электрохимической реакции подаются в него извне и постоянно – в отличие от ограниченного количества энергии, запасенного в гальваническом элементе или аккумуляторе.

Топливные элементы осуществляют превращение химической энергии топлива в электричество, минуя малоэффективные, идущие с большими потерями, процессы горения. Это многообещающий способ производства энергии в будущем. Особый интерес высокотемпературные топливные элементы представляют для строительного комплекса, для малой и средней энергетики (сотни киловатт).

Основные преимущества

- используется для выработки электроэнергии в топливных элементах с минимальным влиянием на окружающую среду;
- обработка металлов без примесей;
- альтернатива кислотам и щелочам, которые используются в качестве среды аккумуляторов и производят большое количество щелочных и кислых сточных вод;
- не образуют сточных вод.

Одним из недостатков являются высокие температуры, необходимые для плавления карбонатов и поддержания их температуры. Но если мы используем смесь различных карбонатов щелочных металлов (таких как Li, Na, K), то можем добиться понижения температуры плавления.

Также расплавленные карбонаты щелочных металлов химически агрессивны, и это может привести к коррозии материала ванны. Правильный выбор материала ванны является очень важным. Лучше всего для этой цели подходит сплав FeCrAl либо сплав FeNiCr. В этом случае хотя бы один из металлов образует защитную оксидную пленку на основной поверхности. Таким образом, этой проблемы также можно избежать.

В заключение стоит сказать, что использование расплавленных карбонатов в качестве электролитов открывает новые пути для осуществления безопасных для человека и окружающей среды ресурсосберегающих методов обработки природных и искусственных материалов, в том числе радиоактивных материалов и органических соединений. Электрохимические методы имеют минимальный риск для окружающей среды, поддаются контролю и позволяют создавать оптимальные блок-схемы. Целесообразность данной технологии определяется современной ситуацией, экономическими и экологическими требованиями, а также постоянным совершенствованием данного метода.

# ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ЦИНКА МЕТОДОМ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

*Никитин В.С., Рудой В.М., Останина Т.Н.  
УрФУ, a.b.darintseva@ustu.ru*

Порошки металлов, которые получают путем электролиза водных растворов, благодаря уникальной дендритной структуре находят широкое применение в самых различных отраслях техники. Процесс электролитического получения является весьма энергоемким, поэтому важно вести электролиз в условиях, обеспечивающих максимальный выход металлических порошков с заранее заданными свойствами. В связи с разнообразием требований к структуре порошков различных марок, необходимо еще на стадии формирования осадков установить связь между режимом получения порошка и его свойствами: удельной поверхностью, насыпной плотностью, пористостью и др.

Целью данной работы является разработка методики измерения поверхности цинковых дендритных осадков методом импедансной спектроскопии.

Суть метода состоит в сравнении величины емкости двойного электрического слоя (ДЭС) в отсутствии фарадеевского процесса, полученной на гладком электроде, с двойнослойной емкостью пористого дендритного осадка. Величину емкости ДЭС можно получить расчетным путем из данных по измерению импедансных спектров на электроде в индифферентном электролите. Для этого надо подобрать эквивалентную схему, которая бы удовлетворительно описывала поведение исследуемого электрода в переменном токе, как для гладкого электрода, так и для электрода с дендритным осадком.

Электроосаждение цинковых дендритных осадков проводили при комнатной температуре в стеклянной ячейке по трехэлектродной схеме из раствора состава 0,3 моль/л  $ZnO$  + 4 моль/л  $NaOH$  при постоянном катодном перенапряжении – 0,4 В. Время осаждения дендритных осадков составляло 3 и 10 минут. В ячейку помещали стержневой катод, изготовленный из проволоки диаметром 1 мм. Вспомогательным электродом был цилиндр из цинковой пластины, а электродом сравнения служила цинковая проволока, помещенная в гебер.

Измерения импеданса проводили на цинковом дендритном осадке и гладком цинковом электроде в растворе 1н  $Na_2SO_4$  с помощью электрохимической станции IM-6 в диапазоне частот от 0,05 до 500000 Гц. Амплитуда входного сигнала составляла 10 мВ. При измерении импеданса в качестве электрода сравнения использовали хлоридсеребряный электрод в насыщенном растворе  $KCl$ , а в качестве вспомогательного – платиновую пластину. Экспериментальные спектры импеданса (рис. 1-3) аппроксимировали эквивалентной схемой, приведенной на рис. 4. Значения параметров, при которых проводили расчет, представлены в таблице.

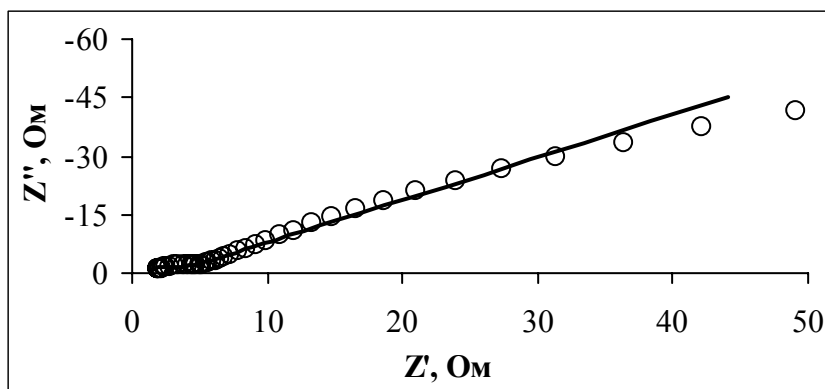


Рис. 1. Импедансная диаграмма на гладком цинковом электроде. Точки – экспериментальные данные в диапазоне частот 11,3-127000 Гц, линия – расчет по эквивалентной схеме

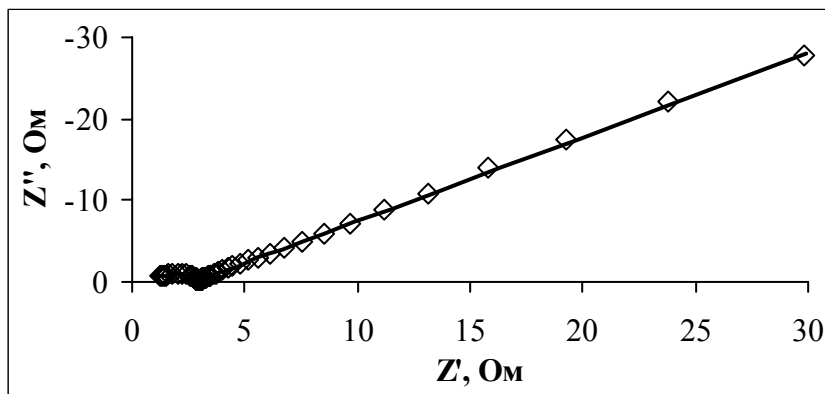


Рис. 2. Импедансная диаграмма дендритного цинкового осадка после 3 минут осаждения. Точки – экспериментальные данные в диапазоне частот 0,05-80800 Гц, линия – расчет по эквивалентной схеме

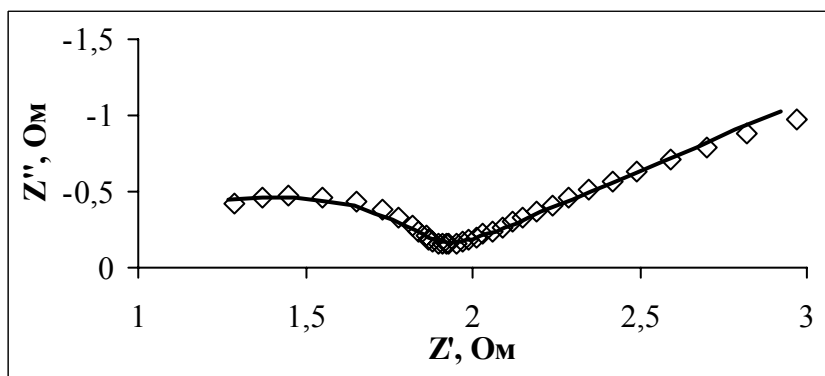


Рис. 3. Импедансная диаграмма дендритного цинкового осадка после 10 минут осаждения. Точки – экспериментальные данные в диапазоне частот 15,1-40800 Гц, линия – расчет по эквивалентной схеме

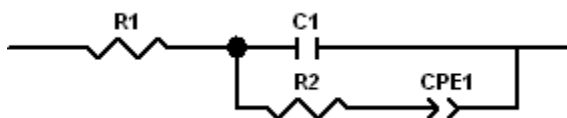


Рис. 4. Эквивалентная схема импеданса цинковых дендритных осадков в растворе 1 моль-экв/л  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

В представленной схеме  $R_1$  соответствует сопротивлению раствора вне электрода,  $C_1$  – емкость (ДЭС) на гладкой поверхности вне пор,  $R_2$  и  $CPE_1$  – соответствуют импедансу внутри пор. Подбор параметров эквивалентной схемы проводили с помощью программы ZView фирмы Solartron.

Площадь поверхности дендритного осадка определяли как отношение общей и удельной емкости ДЭС. Общие емкости  $\bar{C}_{\text{дэс}}$  рассчитывали через сопротивление  $R_{\text{tot}}$  и емкостной параметр  $T_1$  с экспоненциальным показателем  $p_1$  элемента постоянной фазы  $CPE_1$  [1]:

$$\bar{C}_{\text{дэс}} = \frac{T1^{1/p1}}{R_{\text{tot}}^{1-1/p1}}, \quad (1)$$

где  $R_{\text{tot}} = R1$  для гладкого электрода и  $R_{\text{tot}} = R1 + R2$  для пористого электрода.

Удельную емкость рассчитывали, зная площадь гладкого электрода  $S_{\text{гл}}$  и емкость двойного слоя на гладком электроде  $\bar{C}_{\text{дэс,гл}}$ , определяемую по уравнению (1):

$$C_{\text{уд}} = \frac{\bar{C}_{\text{дэс,гл}}}{S_{\text{гл}}}. \quad (2)$$

Результаты расчетов представлены в таблице.

Расчет площадей поверхности цинковых дендритных осадков

Время осаждения, мин	R1, Ом	R2, Ом	T1, Ф·с <sup>p-1</sup>	$\bar{C}_{\text{дэс}}$ , мкФ	S, см <sup>2</sup>
0	0,90	-	0,0017	5,42	0,42
3	0,99	1,80	0,0463	6400,82	491,50
10	0,94	0,94	0,0740	8512,49	653,65

Как видно по полученным результатам, с увеличением времени осаждения закономерно растет площадь поверхности осадков. Таким образом, метод импедансной спектроскопии можно использовать для оценки длительности электролиза с целью получения осадка металла с определенной удельной поверхностью. При соответствующей доработке применение метода позволит экономить энергетические затраты при производстве порошков.

#### *Библиографический список*

1. R. Jurczakowski, C. Hitz, A. Lasia. J. Electroanal. Chem. 572. 2004. P. 355–366.  
Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 11-03-00226

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗДУШНОТВЕРДЕЮЩИХ ЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ, УПЛОТНЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ И РЕМОНТА ЭМАЛИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Нестерак Ю.В., Лазуткина О.Р.*

*УрФУ, Lor5454@mail.ru*

Ремонт крупногабаритных эмалированных агрегатов и исправление мелких дефектов эмалирования представляют собой актуальную и очень трудоемкую задачу. В настоящее время применяются следующие способы [2]: 1) частичное реэмалирование; 2) установка уплотнительных ввертных устройств из благородных металлов; 3) установка накладных элементов; 4) высокотемпературное напыление химически стойких материалов; 5) нанесение химически стойких композиций.

Частичное реэмалирование не всегда обеспечивает высокое качество отремонтированной поверхности, из-за возникающих между слоями «родной» и нанесенной эмали напряжений, а также требует больших по объему печных агрегатов с температурой рабочего пространства  $> 800$  °С, что энергозатратно и не-

выполнимо на промышленных предприятиях. Установка уплотнительных ввертных устройств и накладных элементов неприемлема при исправлении дефектов на уплотнительных поверхностях и штуцерах. Высокотемпературное напыление химически стойких материалов связано с необходимостью использования дорогостоящих материалов и высокотемпературных устройств напыления. Достоинством способа нанесения химически стойких композиций является его легкая осуществимость в условиях цехов промышленных предприятий, возможность покрытия больших поверхностей без сложного оборудования, что представляет практический интерес для эксплуатационников.

Защитная композиция представляет собой вязкую систему с пониженной диффузией частиц. Структурообразование в ней происходит в результате возникновения контактов между коллоидными мицеллами. Мицеллы формируются за счет адсорбции ионов и молекул на поверхности высокодисперсных частиц, твердение её – взаимодействие между сформированными коллоидными мицеллами – приводит к образованию водо- и химически стойкого защитного слоя. Основу защитной композиции № 1 (95 мас. %) составляет диабазовая мука, которая в своем составе содержит примерно 76 % оксида кремния, как показано в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав диабазовой муки

Наименование оксида	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	FeO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Прочие, %
Содержание, не более %	4,0	2,2	12,3	76,0	3,7	1,8

Основу защитной композиции № 2 (95 мас. %) составляет песок строительный (ТУ 48-0328-27-97), отобранный с транспортера отделения фильтрации обогатительной фабрики ОАО «СУМЗ», состав которого приведен в табл.2. По данным рентгенофазового анализа кристаллическая составляющая его представлена фаялитом (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), магнетитом (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) и халькостибидом меди (CuSbS<sub>2</sub>).

Основу защитной композиции № 3 (95 мас. %) составляет зола каменного угля Рефтинской ГРЭС, которая представляет собой мелкодисперсный порошок (максимальный размер частиц ≤ 0,1 мм) алюмосиликатного материала, неоднородного по составу: содержащего аморфную и кристаллическую фазы.

Таблица 2

Химический состав разных фракций песка

Размер частиц, мм	Содержание, мас. %				
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	А <sub>т</sub> прк
Более 0,16	33,80	9,16	50,30	7,15	+4,14
0,08-0,16	34,10	8,69	48,20	7,21	+4,42
Менее 0,08	22,42	9,48	51,26	3,89	+4,34

Химический состав золы Рефтинской ГРЭС в пересчете на бессульфатную массу [1] приведен в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав золы, масс. %

%	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
	60,0-64,5	22,0-27,2	0,5-0,7	8,5-4,5	4,0-1,7	2,0-0,2	2,0-0,6	1,0-0,3

Испытания на адгезию «грибковым» методом показали, что тонины помола материалов не влияют на адгезию к стали и она очень высокая, для композиции № 1 – 70-80 кг·см<sup>2</sup>, для композиции № 2 – 160 кг·см<sup>2</sup>, для композиции № 3 – 180 кг·см<sup>2</sup>. Испытания на удар силой 2 Дж показали, что как при прямом, так и при обратном ударе покрытие на металле сохранилось, но композиции с большей тониной помола дают лучшие результаты. Для увеличения адгезии было принято решение ввести в состав № 1 в качестве частичного заполнителя оксид железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в количестве около 30 %. Полученный состав № 4 испытали по тем же методикам и получили следующие данные (табл. 4).

Образцы, покрытые составом № 4, были испытаны на адгезию к эмали, и мы получили значения 105-110 кг·см<sup>2</sup>. Теоретический расчет ТКЛР составов по методу Аппена показал, все рассчитанные ТКЛР защитных композиций попадают в интервал для промышленных эмалей, работающих в агрессивных средах.

Таблица 4

Результаты испытания нанесенных покрытий на адгезию «грибковым» способом

Вид замазки на основе	Адгезия, кг·см <sup>2</sup>	Визуальный осмотр
• Состав № 1	80	Замазка отошла с просветом до металла (примерно 50%/50)
• Состав № 2	160	Отрыв по клею с небольшими частицами замазки
• Состав № 3	180	Отрыв по клею с небольшими частицами замазки
• Состав № 4	260	Отрыв по клею, без разрушения образца

Таблица 5

Температурный коэффициент линейного расширения кислотостойких замазок

Вид замазки :	ТКЛР, ·10 <sup>-7</sup> с <sup>-1</sup>
• Состав № 1	97,963
• Состав № 2	112,031
• Состав № 3	110,520
• Состав № 4	98,681

Выбранный в ходе проведения работ состав № 4 на основе диабазовой муки и оксида железа показал себя как замазку с высокой адгезией к металлу и эмали и хорошей кислотостойкостью (табл. 5). При испытании на термостойкость состав устойчив до +80 °С, при более высоких температурах появляются трещины, не позволяющие обеспечить необходимой коррозионной защиты. При проверке на влагостойкость выяснилось, что составы, сохнувшие во влаж-

ной атмосфере, более устойчивы к воздействиям влаги, т.к. поры в них более мелкие, чем в составах, твердеющих на воздухе. По эксплуатационным параметрам все данные кислотостойкие композиции можно применить в качестве промазки соединительных фланцев, для защиты мест сварки, для ремонта повреждений на поверхности эмалевого покрытия площадью до 25 см<sup>2</sup> на крупногабаритных эмалированных деталях.

*Библиографический список*

1. Лазуткина О.Р. Техническое эмалирование. LAPLAMBERT Academic Publishing GmbH & Co KG, 2011. 65 с.
2. Манегин Ю.В., Анисимова И.В. Стеклосмазки и защитные покрытия для горячей обработки металлов. М.: Металлургия, 1978. 223 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ БАРИТОВОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ**

*Осипов А.В., Беляков В.А., Носков А.С.  
УрФУ, osipoffalex@mail.ru*

На сегодняшний день существует два наиболее распространенных и эффективных способа получения электроэнергии – сжигание природного органического топлива и использование энергии деления атомного ядра. Применение органического топлива имеет некоторые недостатки. А именно, органическое топливо является конечным ресурсом и усиливает парниковый эффект. Использование ядерных технологий также имеет ряд очень опасных для человека последствий. Это, в первую очередь, проблема утилизации радиоактивных отходов, которые неизбежно попадают в мировой природный цикл.

В связи с этим, а также со значительным ухудшением радиационной обстановки, необходимостью надежной консервации ядерных отходов и отработанных атомных энергоблоков, создание высокоэффективных и относительно дешевых радиационно-защитных (РЗ) материалов является важной научной задачей, имеющей большое практическое значение.

Традиционно для решения задач радиационной защиты используют свинец (в виде листового металла или порошкового наполнителя резин, пластмасс, синтетических смол) и барий (главным образом в виде барита BaSO<sub>4</sub> в качестве наполнителя РЗ штукатурок и РЗ бетонных блоков). Свинцоводержащие материалы токсичны и к тому же подвержены быстрому старению. Барит более предпочтителен, так как он безвреден. Мировые тенденции в практическом решении проблем радиационной защиты ориентированы большей частью на создание РЗ материалов на основе свинца, в меньшей степени – на основе бария (барита) и в совсем незначительной мере – на основе лантаноидов, висмута и некоторых других элементов с большим атомным номером.

При разработке составов радиационно-защитных строительных смесей в качестве наполнителей могут использоваться как природные минералы, так и специально получаемые композиты. Удачное сочетание металлических и неме-



таллических составляющих разного состава в определённых количественных соотношениях создаёт возможность изменения в нужном направлении физико-химических и РЗ свойств готовых материалов. В результате взаимодействия между этими составляющими во время обжига получаются новые материалы, обладающие специфическими свойствами, не являющимися просто суммой свойств металла и неметаллической составляющей [1].

В качестве тяжёлых наполнителей РЗ бетонов и штукатурок может использоваться железорудная продукция горно-обогатительных комбинатов – магнетиты, лимониты. Применение железорудного концентрата совместно с баритами в производстве сухой смеси для приготовления неорганического РЗ композита даёт эффект повышения как РЗ свойств, так и механических характеристик готового материала.

В строительном институте УрФУ совместно с кафедрой «Материаловедение в строительстве» института материаловедения и металлургии начаты исследования по получению новых составов смесей для получения новых видов радиационно-защитных бетонов. Предполагается, что бетонная смесь будет включать цемент, тяжелые наполнители, современные химические добавки и воду. Предполагается исследование влияния на свойства радиационно-защитного бетона различных пластифицирующих добавок на основе наночастиц.

Результаты исследований востребованы при начатом в настоящее время строительстве защитных сооружений 4 энергоблока Белоярской АЭС.

Данный состав смеси предназначен для изготовления РЗ блоков, стен, перегородок, призванных обеспечить радиационную защиту персонала от источников рентгеновского и гамма-излучений.

Предполагаемое преимущество нового состава:

- Использование пластифицирующих химических добавок приводит к снижению водоцементного отношения и за счет этого к снижению плотности конструкции.

- Снижение плотности конструкции без потери прочности и радиационно-защитных свойств и достигаемое за счет этого уменьшение нагрузки на фундаменты и грунтовое основание сооружения.

- На 20-30 % более низкая стоимость по сравнению с существующими аналогами за счет использования местного баритового сырья Челябинского месторождения.

На основе полученных опытных составов планируются исследования физико-механических, теплоизоляционных и радиационно-защитных свойств материала с целью уточнения и определения пригодности составов для использования их в строительных конструкциях.

#### *Библиографический список*

1. Болтышев С.А. Структура и свойства сверхтяжелых серных бетонов для защиты от радиации. Автореферат дис. канд. тех. наук. Пенза, 2003. С. 37.

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА МЕЖДУ ЦИНКОВЫМ И СТАЛЬНЫМ АНОДАМИ

Плотников А.С., Останин Н.И.  
УрФУ, e-mail: a.b.darintseva@ustu.ru

Цинковые покрытия широко используются для защиты стали от коррозии. Разработчики гальванических процессов рекомендуют при нанесении цинковых покрытий на изделия сложной формы заменять цианидные электролиты на нетоксичные цинкатные электролиты. Они просты по составу, менее экологически опасны. Однако в щелочных цинкатных электролитах наблюдается заметная разница в скоростях расхода и поступления ионов цинка. Анодный выход по току при устойчивом растворении практически равен 100 %, а катодный выход по току, как правило, составляет 50-70 %. Очевидно, что удержать концентрацию ионов цинка в сравнительно узком диапазоне 8-12 г/л очень трудно. Одним из технических решений этой проблемы является замена части растворимых цинковых анодов на нерастворимые в щелочном электролите стальные аноды.

В работе приведены результаты эксперимента по распределению тока между стальным и цинковым анодами. Для проведения исследований использовали цинкатный электролит с добавкой Импульс-Ц2 (табл. 1). В качестве катода использовали стальную пластину. Анодами служили стальная пластинка площадью 0,225 дм<sup>2</sup> и спираль из цинковой проволоки, имеющая площадь 0,35 дм<sup>2</sup>. Величину тока в цепи рассчитывали, принимая анодную плотность тока равной 2,35 А/дм<sup>2</sup>. Общий ток фиксировали с помощью вольтамперметра М2051 (А). Кроме этого, мультиметрами АРРА 109N (А<sub>1</sub> и А<sub>2</sub>) измеряли ток в цепи каждого анода. Схема установки приведена на рисунке.

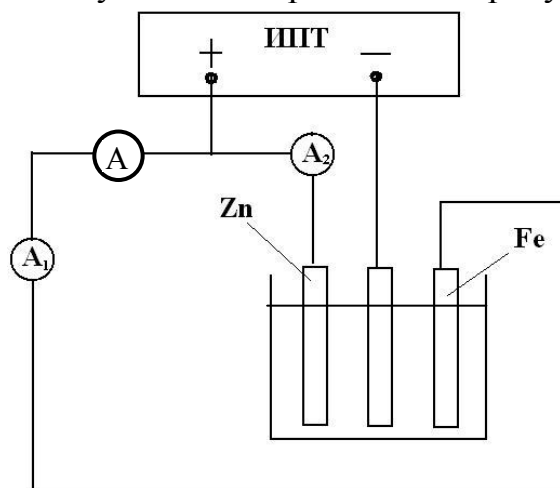


Схема для измерения распределения тока между цинковым и стальным анодами

Таблица 1

Состав цинкатного электролита

Параметры электролиза	Единицы измерения	Содержание компонентов
Оксид цинка	г/л	10
Гидроксид натрия	г/л	100
Добавка Импульс Ц-2	мл/л	11

В табл. 2 сведены результаты измерений величины тока и потенциалов под током ( $E^i$ ) стального и цинкового анодов. В случае использования предварительно протравленных в соляной кислоте анодов (опыт 1) фактически, весь ток идет через цинковый анод. Он работает при повышенной, по сравнению с расчетной, плотности тока. Тогда как доля тока, приходящаяся на стальной анод, незначительна. Отрицательное значение тока указывает на протекание на стальном электроде катодной реакции, по-видимому, восстановления водорода. Интенсивного выделения газа ни на цинке, ни на стали не наблюдалось. Исходя из величины электродного потенциала, можно сделать вывод, что в том случае, если цинковый анод находится в активном состоянии, то при анодной поляризации происходит его растворение. На стальном электроде при потенциале - 0,42 В невозможно выделение кислорода.

Таблица 2

Результаты опытов по измерению распределения тока между анодами

Измеряемая величина	Опыт 1	Опыт 2	Рассчитанное значение
$I_{Fe}, A$	-0,003	0,54	0,53
$I_{Zn}, A$	1,34	0,81	0,82
$E_{Zn}^i, B (н.в.э.)$	-1,12	+0,68	
$E_{Fe}^i, B (н.в.э.)$	-0,42	+0,96	

После частичной пассивации цинкового анода (опыт 2) потенциалы анодов становятся более положительными. При этих потенциалах возможны процессы окисления гидроксид анионов в щелочной среде с образованием молекул кислорода. Это подтверждает интенсивное выделение кислорода на стальном аноде и образование пузырьков кислорода на запассивированной поверхности цинкового анода. Величины токов, протекающих через цинковый и стальной аноды, рассчитанные с учетом площади электродов, практически совпадают с измеренными значениями.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что заведение стальных анодов на анодные штанги совместно с цинковыми будет эффективным только в том случае, если цинковые аноды будут частично запассивированы. Это позволит снизить суммарные энергозатраты и расход реагентов на процессы нанесения покрытий и корректировки электролита.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДОВ ЕС

*Попова А.С., Фетисов Б.А.  
УрФУ, Anna\_s2005@mail.ru*

В настоящее время цементная промышленность Европы является одной из самых обширных и, в то же время, энергоемких. Общее количество произведенного цемента за 2011 год – 3,6 млрд т, где 7 % принадлежит Евросоюзу [1]. Двумя основными типами потребляемой энергии при производстве цемента являются электричество и ископаемое топливо.

От 20 до 40 % общей стоимости производства цемента – затраты на электроэнергию [4]. Основной энергозатратный процесс – производство цементного

клинкера из известняка и мела путем нагревания известняка до температур выше 950 °С. Портландцемент, наиболее широко используемый тип цемента, содержит 95 % цементного клинкера. Также много электроэнергии используется для измельчения сырья и готового цемента.

Энергоэффективность цементного производства сильно зависит от вида процесса клинкерного производства, главного компонента получаемого цемента (сухого или мокрого), а также от типа печи. Действительно, при сухом способе потребление энергии меньше, чем при мокром способе; в то же время, вертикальная шахтная печь потребляет больше энергии, а печи по сухому способу с теплообменниками и реакторами-декарбонизаторами более энергоэффективны.

В таблице представлены сравнительные данные по энергозатратности процессов получения клинкера в зависимости от технологии или типа процесса [3].

Технология/процесс	Общее потребление, ГДж/т клинкера
Вертикальная шахтная печь	5
Печь по мокрому способу	5,8–6,7
Длительный процесс сушки	4,5
Печь по сухому способу (с 4-х ступенчатым теплообменником)	3,2
Печь по сухому способу (с 6-ти ступенчатым теплообменником и реактором-декарбонизатором)	2,8

Общее потребление электроэнергии составляет 90-150 кВт·ч/т цемента. На 1 т клинкера уходит 1,57 т сырьевых материалов, на 1 т цемента – около 60...130 кг топлива или 105 кВт·ч энергии [1].

Затраты на энергию составляют около 40 % от стоимости готового цемента, из них 14-25 % - это затраты на электричество. Поэтому, целесообразно увеличивать энергоэффективность производства, т.к. в прямой зависимости от нее находится себестоимость готового продукта.

В настоящее время на цементных заводах Евросоюза активно внедряются технологии, позволяющие снизить затраты на энергию и топливо, в том числе и введение альтернативного топлива, например, промышленных отходов и отходов народного хозяйства. Введение такого топлива позволит снизить потребление топлива ископаемого, тем самым снизить выбросы парниковых газов, а именно – CO<sub>2</sub> в атмосферу. Еще одним путем снижения энергопотребления является модернизация технологических линий путем постепенного вывода старого оборудования и заменой его новым, удовлетворяющим современным технологическим и экономическим требованиям.

Поскольку в процессе обжига клинкера в окружающую среду теряется много тепла, были разработаны современные системы по переработке неиспользованного тепла, отходящего от теплообменника и холодильника. Такие системы представлены немецкой компанией SIEMENS. Компания производит системы эффективной автоматизации и контроля процесса производства клинкера, а также контроля отходящего тепла и возврата его в систему. Благодаря

этим системам энергия не теряется, а преобразовывается в электроэнергию или снова возвращается в производство. Система контроля позволяет снизить расход энергии до 20 %.

Сейчас в Германии функционирует цементный завод, который обладает подобной системой возврата тепловой энергии, а именно, неиспользованного тепла из холодильника. Мощности, полученной таким образом, хватает для производства 1,5 МВт электричества. Подсчитано, что при такой переработке тепла можно экономить затраты на электричество в пределах 8...22 кВт·ч/т клинкера [2].

Помимо введения новых технологий, разрабатываются также различные сценарии развития цементной промышленности на ближайшие 20 лет в зависимости от цен на электричество и ископаемое топливо, а также ряда других факторов, включая постепенную модернизацию технологических линий. Цены на ископаемое топливо не являются решающими при постепенном выводе неконкурентоспособных объектов. Тенденции в отрасли приведут к повышению на 10 % на тонну клинкера эффективности использования энергии при снижении выбросов CO<sub>2</sub> примерно на 4 % с 2006 до 2030 г. Цены на топливо, дополнительные расходы и выброс CO<sub>2</sub> дадут дополнительное улучшение около 1..3 %. В результате подсчетов ожидается снижение энергопотребления до 3350 МДж/т клинкера к 2030 году [1]. Снижение потребления тепловой энергии, достигнутое к 2030 г., поставит Европейский средний расход близко к верхнему значению возможных стандартов, что будет ориентиром для отдельных объектов с низким содержанием влаги в сырье.

#### *Библиографический список*

1. Energy and Resources Efficiency in the Cement Industry / Dr. Volker Hoenig. Industrial Technologies. ECRA. June 2012. 12 p.
2. J.A. Moya, N. Pardo, A. Mercier. Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions: Prospective Scenarios for the Cement Industry. Joint Research Centre. Institute for Energy, 2010. 83 p.
3. Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide / Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit. European IPPC Bureau, June 2012. 481 p.
4. Энергосбережение в цементной промышленности / Росстрой. 14 августа 2012. [Электронный ресурс] URL: <http://rosstroy.info/index.php?option=content&task=view&id=89>

## **КАДАСТРОВАЯ ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ, ОСВОБОЖДЕННЫХ ИЗ-ПОД ОТВАЛОВ ШЛАКА РАФИНИРОВАННОГО ФЕРРОХРОМА**

*Сабуров И.В., Правдин Б.А., Печнина Н.В., УрФУ  
Демин Б.Л., Уральский институт металлов*

Хром является одним из основных легирующих элементов при выплавке стали. Хромистые стали обладают высокой устойчивостью к коррозии.

Хром добавляют в сталь в виде сплава феррохрома. При выплавке феррохрома образуется большое количество шлака. Основное количество этого шлака (около 85 %) получают при выплавке рафинированного феррохрома (РФХ).

Шлаки РФХ подвержены силикатному распаду и в процессе охлаждения рассыпаются в порошок (степень распада шлаков РФХ составляет 90-92 %).

Основная проблема заключается в том, что шлаки РФХ складываются в отвалах открытым способом. Из-за мелкодисперсности шлака (70 % шлака РФХ имеют размер фракции 0,05 мм и меньше) отвалы сильно пылят, а под воздействием атмосферных осадков частички шлака легко просачиваются в почву и далее попадают в грунтовые воды.

Уральским институтом металлов предложена технологическая линия для переработки отвальных шлаков РФХ [1], позволяющая не только извлечь из шлака ценное сырье, снизить негативное влияние отвала на окружающую среду, но и освободить земельные угодья (только в Свердловской области под отвалы шлака РФХ отчуждено около 54 гектаров земли, где хранится свыше 9200000 тонн шлака).

Дробильно-сортировочная установка, предложенная Уральским институтом металлов, позволит перерабатывать около 300 тыс. т шлака в год, освобождая тем самым до 2 гектаров земли.

Земельным кодексом РФ в состав государственного земельного фонда включены следующие категории земель:

- земли сельскохозяйственного назначения;
- земли поселений (землями поселений признаются земли, используемые и предназначенные для застройки и развития городских и сельских поселений и отделённые их чертой от земель других категорий);
- земли лесного фонда;
- земли водного фонда;
- земли природоохранного, природно-заповедного, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения;
- земли запаса;
- земли промышленности, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики и космического обеспечения, энергетики, обороны и иного назначения.

Для чего же нужна кадастровая оценка земли?

Кадастровая оценка – это оценка земельного участка с учетом его местоположения по признакам, отвечающим его целевому назначению и хозяйственному использованию, выраженная в системе стоимостных и натуральных показателей. Таким образом, оценка земель включает два основных направления [2]:

1) Оценка функционального состояния земель, т.е. оценка качества земель, их пригодности для каких-либо конкретных нужд, под какие-либо предъявляемые конкретные требования.

2) Экономическая оценка стоимости земель, т.е. определение потенциальной ценности земель в денежном выражении.

Кадастровая оценка земельного участка дает представление о том, как можно использовать этот участок и позволит определить экономическую ценность земли. Например, земельные участки, отнесенные к категории земель промышленности в Свердловской области, в среднем оцениваются в 80,41 руб./м<sup>2</sup>. Рыночная же оценка позволит выявить прибыль [3], которую можно

будет выручить с участка. Проведенные расчеты показывают, что рыночная цена квадратного метра отвала, отнесенного к категории земель промышленности, может достигать до 114,54 руб.

Чтобы использовать освобожденные земли для городского строительства или сельского хозяйства, необходимо провести рекультивацию этих земель. Основная проблема заключается в том, что рекультивация – это сложный, дорогой, и, главное, очень медленный процесс (процесс рекультивации займет от 4 до 6 лет и обойдется примерно в 400 млн руб.).

Итак, земли, освобожденные из-под отвалов шлака РФХ, без рекультивации нельзя использовать ни под городское строительство, ни для сельского хозяйства (из-за высокого содержания в почве хрома, оксидов кальция и магния). Но есть возможность использовать эту землю другим образом. Например, для строительства других промышленных объектов или логистических центров. Строительство логистического центра обойдется примерно в те же 400 млн руб., но при этом мы получаем быструю компенсацию затрат на строительство (срок окупаемости проекта составляет 3,5 года). В результате реализации предложенных мероприятий:

- завод получает прибыль за продукцию, полученную от переработки отходов;
- с завода снимается плата за размещение отходов в отвале;
- завод получает прибыль от сдачи в аренду складских помещений.

#### *Библиографический список*

1. Технологическое задание на проектирование отделения переработки отвальных распадающихся шлаков рафинированного феррохрома Актюбинского завода ферросплавов. ГНЦ РФ ОАО «Уральский институт металлов», Екатеринбург, 2003.
2. Методические рекомендации по проведению рыночной стоимости земельных участков: Распоряжение Министерства имущества РФ № 568-р от 06.03.2002.
3. Ванданимаева О.М. Методическое пособие по оценке стоимости земельных участков М.: Московская финансово-промышленная академия, 2005.

### **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ В ОАО «НЕВИННОМЫССКИЙ АЗОТ»**

*Сайдали А.А., Толкачева Л.Е.  
УрФУ, sfkatyshev@mail.ru*

Получение аммиачной селитры в ОАО «Невинномысский Азот» (г. Невинномысск Ставропольского края) основано на реакции нейтрализации азотной кислоты газообразным аммиаком с выделением большого количества тепла, непосредственно используемого в процессе. Недостатком технологии является образование тумана аммиачной селитры, часть которого не улавливается в установленной аппаратуре и выбрасывается в атмосферу. Это ведет к значительным потерям исходного сырья и к загрязнению окружающей среды.

Целью работы явилось изучение возможности совершенствования технологии получения аммиачной селитры с экономией материальных и финансовых ресурсов предприятия.

Был проведен анализ работы цеха. Установлено, что главным источником потерь аммиака, азотной кислоты и аммиачной селитры является аппарат – пользователь тепла нейтрализации (ИТН) с выносным промывателем сокового пара, снабженным ситчатыми промывными тарелками. Исходные реагенты поступают в реакционную зону аппарата противотоком, что вызывает попадание газовой фазы с высокой концентрацией аммиака на струи азотной кислоты и образование тумана аммиачной селитры с примесями аммиака и азотной кислоты. Выпарка воды в ИТН происходит за счет тепла реакции нейтрализации азотной кислоты аммиаком. Далее смесь сокового пара и тумана подают в выносной промыватель для очистки от аммиачной селитры и кислоты. Существующее распределение потоков реагентов обуславливает нестабильную работу оборудования и часто приводит к нарушениям технологического режима.

Был сделан литературный обзор по способам получения аммиачной селитры. Установлено, что более эффективным является аппарат ИТН, совмещенный с промывателем сокового пара. Он предназначен для получения раствора аммиачной селитры путем нейтрализации азотной кислоты повышенной концентрации от 58 до 60 % мас. (в ИТН с выносным промывателем азотную кислоту предварительно разбавляют до 55 %) газообразным аммиаком с использованием тепла реакции для выпаривания воды из раствора под атмосферным давлением. Применение более концентрированной азотной кислоты позволяет сократить расходы на стадии подготовки сырья и дает возможность получить на выходе из ИТН плав аммиачной селитры с концентрацией 93 % мас.

Усовершенствованный аппарат ИТН является прямоточным реактором с естественной циркуляцией и состоит из трех частей: реакционной, промывной и сепарационной. Внутри корпуса реакционной части находится стакан, в котором происходит реакция нейтрализации азотной кислоты аммиаком при температуре от 155 до 165 °С. Время пребывания реагентов в реакционной зоне составляет 0,5-1,0 с. В нижней части стакана имеются отверстия, предназначенные для многократной циркуляции раствора аммиачной селитры общей площадью 1,5 м<sup>2</sup>. Подогретые газообразный аммиак и азотную кислоту подают в нижнюю часть реакционного стакана и равномерно распределяют по сечению. В этом аппарате усовершенствовано распределение потоков аммиака и азотной кислоты: кольцевой барботер азотной кислоты установлен на входе в рабочую зону, а аммиачный барботер, выполненный в виде шести фонарей, верхняя часть которых перфорирована, установлен далее по ходу потока. Верхняя часть реакционного стакана заканчивается диффузором, обеспечивающим постепенное нарастание скорости на выходе из стакана, тем самым предотвращает возникновение гидроударов больших масс парожидкостной смеси. Вывод парожидкостной смеси производится через завихритель. Верхняя часть аппарата представляет собой промыватель с колпачковыми тарелками, которые обеспечивают более эффективную, чем ситчатые промывные тарелки, очистку сокового пара в большом диапазоне нагрузок. Конструкция промывной части предусматривает создание двух контуров орошения: верхние две тарелки орошаются конденсатом сокового пара с выводом его из аппарата и обеспечивают отмывку сокового пара от аммиачной селитры и азотной кислоты; на нижних



двух тарелках, на которые подают кислый раствор аммиачной селитры, улавливается газообразный аммиак из реакционной части, а также происходит некоторое упаривание раствора перед его сливом в реакционную часть аппарата. Циркуляция раствора аммиачной селитры в аппарате обеспечивает разбавление азотной кислоты, поступающей в реакционную зону, и снижает давление ее насыщенных паров, что также препятствует образованию трудноуловимого аэрозоля. На выходе из сепарационной части соковый пар проходит через сетчатый отбойник для окончательного отделения от брызг жидкости.

Конструктивные особенности аппарата ИТН, совмещенного с промывателем сокового пара, и оптимальное распределение потоков аммиака, азотной кислоты и аммиачной селитры по аппарату, позволяют:

- избежать попадания газовой фазы с высокой концентрацией аммиака на струи неразбавленной азотной кислоты, что делает процесс реагирования более «мягким» и уменьшает образование тумана аммиачной селитры, неизбежное при реакции в газовой фазе;
- обеспечить более равномерное распределение потоков реагентов по диаметру рабочего стакана;
- уменьшить загрязнение сокового пара примесями аммиачной селитры и кислоты;
- получить аммиачную селитру с содержанием основного вещества не менее 99,8 % мас. (в настоящее время – не менее 99,5 % мас.);
- уменьшить количество выбросов в атмосферу.

В настоящее время в технологии используют четыре аппарата ИТН с выносными промывателями сокового пара. Проведенные расчеты оборудования показали, что для обеспечения требуемой производительности достаточно установки двух усовершенствованных аппаратов ИТН. Сокращение количества аппаратов приведет к экономии энергетических ресурсов предприятия за счет оптимизации перекачиваемых потоков.

Таким образом, предлагаемое решение позволит повысить степень использования аммиака и азотной кислоты, значительно уменьшить потери готового продукта – аммиачной селитры, снизить количество вредных выбросов в атмосферу и сэкономить материальные, финансовые и энергетические ресурсы предприятия.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ НА СТОЙКОСТЬ К ПИТТИНГОВОЙ КОРРОЗИИ**

*Трофимов А.А., Рудой В.М., Ярославцева О.В.  
УрФУ, a.b.darintseva@ustu.ru*

Одним из наиболее опасных видов коррозионного повреждения нефтепромышленного оборудования является питтинговая коррозия. При этом виде коррозии большая часть поверхности металла находится в пассивном состоянии, коррозии подвержены отдельные участки поверхности, что приводит к образованию глубоких отверстий – питтингов. При внешне незначительном по-

вреждении поверхности и потере массы наблюдается выход оборудования из строя. Склонность к питтинговой коррозии имеют многие металлы и сплавы, которые, находясь в пассивном состоянии, в силу различных причин способны активироваться и подвергаться локальному растворению.

Задачей данной работы является исследование электрохимическими методами стойкости трубных сталей к питтинговой коррозии.

Коррозионные процессы на металлах, как правило, протекают по электрохимическому механизму. Поэтому различные электрохимические методы получили широкое распространение как среди способов испытаний, так и среди методов исследования. Одним из таких методов является изучение электрохимического поведения железоуглеродистых сплавов в условиях потенциостатической поляризации при потенциалах в области активно-пассивного перехода. Этот метод находит применение при исследовании локальных механизмов коррозии.

В данной работе определяли сравнительную устойчивость к питтинговой коррозии сталей 18Х3МФБ, 18ХМФБ, 15Х5МФБЧ. Для проведения испытаний была использована ячейка, подключенная по трехэлектродной схеме к измерительной станции Solartron 1280С. Поверхность рабочего электрода представляла собой прямоугольный торец стального образца, залитого в эпоксидный компаунд. В качестве электрода сравнения использовался насыщенный хлоридсеребряный электрод; вспомогательным электродом служила платиновая пластинка. Потенциодинамические и потенциостатические измерения проводили в растворе 0,75 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Для метода циклической вольтамперометрии использовался раствор, состава 9,3 г/л  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 10,07 г/л  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , 22,3 г/л KSCN. Выбор потенциала для регистрации колебаний тока осуществлялся по результатам потенциодинамических измерений. На потенциодинамической кривой выбирали участок от начала пассивации до полной пассивации, который разбивали на 3 равных отрезка. Обычно устойчивые колебания тока наблюдались при потенциале на границе между вторым и третьим отрезками. Образцы после циклической вольтамперометрии снимали на цифровом сканере CanonScanLide 70. В случае наличия на поверхности точечных поражений, на фото проводили несколько линий в произвольных направлениях. Определяли среднее число поражений на единицу длины линий. Квадрат этой величины принимали за число питтингов на единице площади поверхности.

При проведении измерений в потенциостатическом режиме можно наблюдать интенсивные колебания тока, что свидетельствует о процессе образования новых питтингов или активации/пассивации уже образованных питтингов.

Анализ колебательного процесса осуществляется с помощью двустороннего преобразования Фурье корреляционной функции, результатом которого является график распределения спектральной плотности по частотам. В качестве примера на рисунке 1 приведена спектрограмма для стали 18Х3МФБ. Исследование спектральной плотности дает информацию о наиболее вероятной частоте, с которой происходит активация питтингов. Для оценки интенсивности растворения стали используется площадь под кривой спектральной плотности,

таким образом, учитывается и частота и амплитуда колебаний. В случае, когда интервал между расчетными значениями частоты был больше, чем

$$f_c = \frac{1}{m \cdot h}, \quad (1)$$

считалось, что интервал соответствует величине  $f_c$ , где  $m$  – ширина спектрального окна, а  $h$  – интервал дискретизации измерений.

Расчет площади ( $S$ ) под кривой производился методом численного интегрирования по формуле:

$$S = \frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} G(f) \cdot df. \quad (2)$$

Здесь  $f_2, f_1$  – верхняя и нижняя частоты диапазона интегрирования, Гц;  $f$  – частота колебания, переменная интегрирования, Гц;  $G(f)$  – величина спектральной плотности,  $A^2$ .

Пики с максимальной спектральной плотностью свидетельствуют о том, что интенсивнее всего процесс происходит на соответствующих частотах.

Сопоставление результатов анализа колебаний тока и результатов визуального анализа образцов после циклической вольтамперометрии представлено на рис. 2.

Картину питтингообразования, как коррозионный процесс, можно представить следующим образом. Общее количество растворенного в результате коррозии металла отражает интеграл от спектральной плотности. При малом количестве питтингов объем растворившегося металла приходится на сравнительно небольшое количество питтингов, и, таким образом, опасность коррозионного поражения возрастает.

По полученным данным можно сделать вывод о том, что для исследованных сталей, в которых содержание хрома составляет 1, 3 и 5 % с увеличением содержания хрома увеличивается число питтингов и частота их активации, но вероятность возникновения проникающих питтингов снижается.

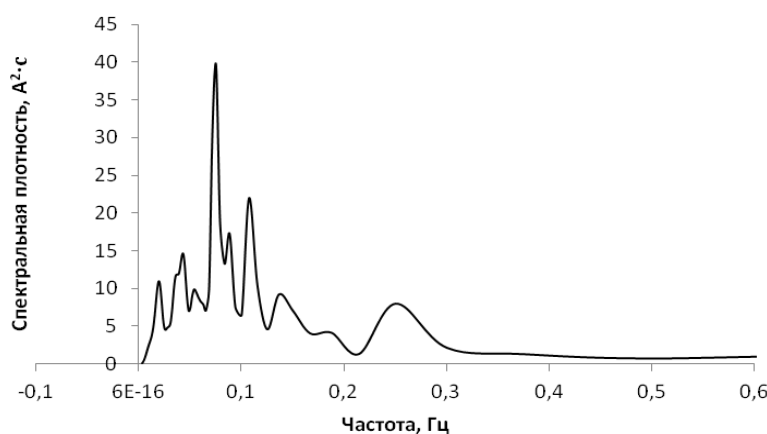


Рис. 1. Спектральная плотность колебаний тока при потенциале 0,34 В (нхсэ) для стали 18Х3МФБ

Хромосодержащие стали являются основным конструкционным материалом для изготовления магистральных трубопроводов, оборудования для хранения и транспортировки жидких нефтепродуктов.

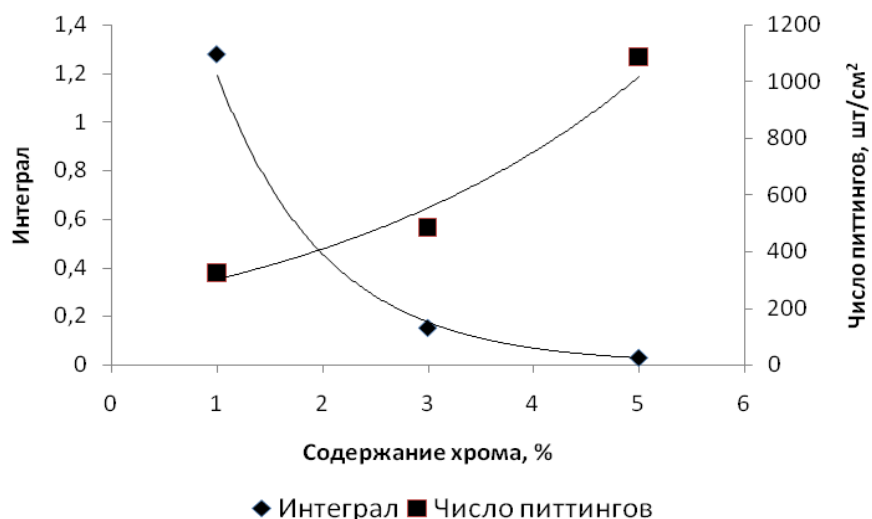


Рис. 2. Сопоставление данных по интенсивности растворения питтингов и плотности их расположения на поверхности

Таким образом, полученные в работе данные вскрывают механизм действия легирующей добавки и

позволяют использовать предложенный в работе метод для прогноза коррозионной стойкости конструкционных материалов. Оценка питтингоустойчивости металлов применительно к реальным условиям эксплуатации является мощным средством в борьбе за ресурсосбережение и повышение надежности эксплуатируемого оборудования.

## ШЛАКОВАТА НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Тукмачев К. Ф., Чипуштанова А.М., Власова С.Г.  
УрФУ, [vlassvet@k66.ru](mailto:vlassvet@k66.ru)

Изделия на основе минерального волокна и сегодня широко используются в качестве теплоизоляционных материалов. Они являются негорючими, не подвергаются воздействию грызунов и микроорганизмов, морозостойкие, для их производства не требуется дефицитное сырье.

Минеральная вата – общее название всех видов волокнистых теплоизоляционных материалов, а именно: шлаковаты, стекловаты, базальтовой ваты. Ее получают из расплава горных пород, силикатных промышленных отходов и их смесей.

Химический состав минеральной ваты, мас. %, выглядит следующим образом:  $\text{SiO}_2$  – 34-45,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 15-24,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2-11,  $(\text{CaO} + \text{MgO})$  – 20-35,  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  – 1-7.

Для получения минеральной ваты применяются, в первую очередь, доменные шлаки, а также ваграночные, мартеновские и цветной металлургии.

В данной работе использовали отвальный медеплавильный шлак, химический состав которого, мас. %, следующий: 34-38  $\text{SiO}_2$ ; 3-4  $\text{CaO}$ ; 4-5  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 47-50  $\text{FeO}$ ; 3-5  $\text{ZnO}$ ; до 0,4  $\text{Cu}$ ; 0,5-1,2  $\text{S}$ .

В качестве компонентов шихты, кроме шлака, рассмотрены кварцсодержащие сырьевые материалы месторождений Уральского региона: габбро, доломит и диатомит.

Исследования велись для нескольких шихт, состав которых приведен в таблице.

Шихта	Шлак	Доломит	Габбро	Диатомит
1	10	20	70	-
2	15	15	70	-
3	20	10	70	-
4	20	40	-	40

Шихта на основе габбро характеризуется повышенным содержанием оксида алюминия и пониженным количеством оксида кремния. Шихта № 4, содержащая в качестве кремнеземистого компонента диатомит, характеризуется повышенным содержанием оксидов кремния и магния, пониженным количеством оксида алюминия.

Наибольший коэффициент кислотности имеют шихты состава № 1 ( $M_k=2,03$ ) на основе габбро, наименьший – шихта № 4 ( $M_k=1,65$ ) при применении диатомита.

Для получения минерального волокна расплав должен иметь вязкость при температуре 1400 °С не выше 1,5 Па·с, а при 1500 °С – 0,5 Па·с. Установлено, что наименьшую вязкость в интервале температур от 1300 до 1400 °С имеет расплав шихты № 4 (на основе диатомита). Расплавы, полученные из шихт № 2 и 4, имеют вязкость при температуре 1400 °С менее 1,5 Па·с. По сравнению с расплавом № 1 на основе габбро расплавы № 2 и 4 имеют меньшую вязкость и при температуре 1300 °С (не более 1,5 Па·с). При варке необходимо учитывать агрессивное воздействие стекломассы по отношению к огнеупору стекловаренной печи.

Таким образом, для получения минерального волокна могут быть рекомендованы трехкомпонентные шихты и на основе габбро (1 и 2), и на основе диатомита (4).

Использование недорогого местного сырья перспективно для области, будет способствовать некоторому уменьшению отвалов, загрязняющих почву, и позволит снизить затраты на производство.

## ПОЛУЧЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ШАМОТНЫХ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ

*Черепанов М.Ю., Пономарев В.Б., Лошкарёв А.Б.  
УрФУ, г. Екатеринбург, amar1960@gmail.com*

Шамотный порошок – составляющая огнеупорного раствора. Применяется для связывания огнеупорных кирпичей при кладке и ремонте печей. После дробления и измельчения шамот применяют в качестве отошающего (уменьшение пластичности и усадки при сушке и обжиге) компонента шамотных масс при формовании изделий (или соответственно высокоглинозёмистых и других огнеупоров), изготовлении мертелей, торкрет-масс, в качестве заполнителя огнеупорных бетонов и т.д.

В зависимости от химического и зернового составов, а также огнеупорности, порошки молотого шамота подразделяются на марки (табл. 1).

Таблица 1

Зерновой состав порошков шамота (проход через сетку), %

Наименование показателей	ПШКМ, ПШАМ, ПШБМ, ПШВМ, ПШПБМ, ПШПВМ	ПШКТ, ПШАТ, ПШБТ, ПШВТ, ПШПБТ, ПШПВТ
№ 3, 2, не менее	100	–
№ 2, не менее	90	–
№ 1, не менее	–	100
№ 05, не менее	40	90

Для шамотов ШКВ-1, ШКВ-2, ШКВ-3 массовая доля зерен мельче 0,5 мм допускается не более 25 %.

В полной мере фракционный состав огнеупорных заполнителей регламентируется ГОСТ 23037-99.

Существующая технология разделения шамота на грохотах по фракциям от 0,5 до 3,0 мм имеет следующие недостатки:

- большая запыленность помещения участка переработки;
- низкая эффективность получения фракций менее 0,5 мм;
- эксплуатационные неудобства, связанные с частым ремонтом и заменой сеток,
- повышенные расходы энергии и материальных ресурсов.

В данной работе рассмотрена возможность применения пневматической классификации шамотных порошков, у которой отсутствуют указанные недостатки.

Наиболее простым по конструкции и эксплуатации является поперечно-поточный классификатор с наклонной решеткой (рис. 1).

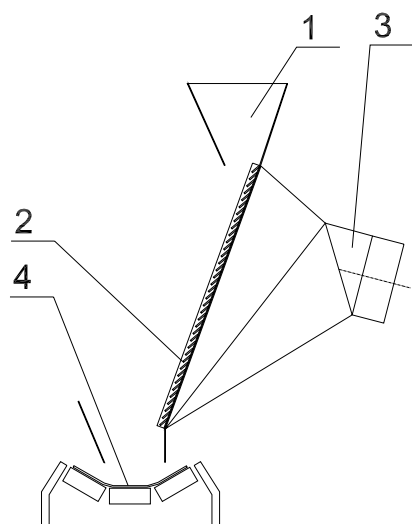


Рис. 1. Схема поперечно-поточного классификатора:

- 1 – бункер исходного продукта,  
2 – наклонная жалюзийная решетка,  
3 – патрубок отсоса пылевоздушной смеси, 4 – выгрузка крупного продукта

Исходный продукт из бункера 1 поступает в верхнюю часть жалюзийной решетки, набранной из ряда плоских параллельных пластин. Проходящий сквозь зазоры между пластинами воздушный поток провеивает пересыпающийся по решетке 2 полидисперсный материал. Мелкие фракции увлекаются потоком в патрубок 3 и осаждаются в дальнейшем в пылеулавливающих устройствах. Обеспыленные крупные зерна попадают в разгрузочное устройство 4.

В работе исследовалось влияние углов наклона  $\alpha$  жалюзийной решетки 1 и угла  $\beta$  наклона пластин 2 (рис. 2) на эффективность разделения шамота при

постоянной расходной концентрации ( $\mu = 2 \text{ кг/м}^3$ ) и различных скоростях воздушного потока  $w$ .

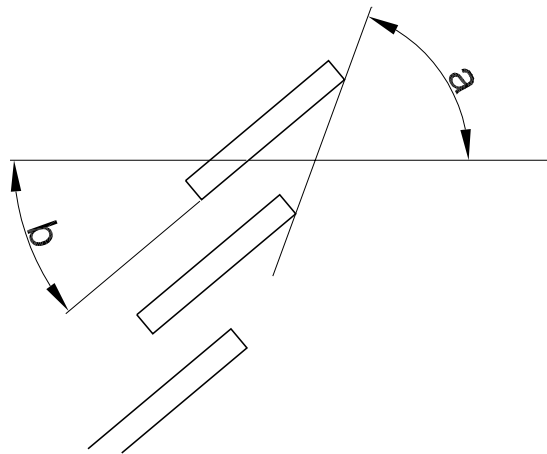


Рис. 2. Схема решетки классификатора

Исходный гранулометрический состав шамота представлен в табл. 2.

Таблица 2

Исходный гранулометрический состав шамота

Размер сита, мм	+5,0	-5,0+3,0	-3,0+1,0	-1,0+0,5	-0,5+0,2	-0,2
Частные остатки, %	3,1	13,1	44,5	19,6	11,8	7,9

По результатам исследований получены зависимости эффективности разделения от скорости воздушного потока для различных углов  $b$  (рис. 3, 4) и границы разделения (рис. 5, 6).

Из них следует, что для разделения с максимальной эффективностью имеются определенные фиксированные углы наклона пластин и решетки классификатора.

Так, для разделения шамота по граничному зерну 0,5 мм наиболее эффективной является конструкция аппарата с углом наклона решетки  $a = 75^\circ$  при угле наклона пластин  $b = 45^\circ$ . В этом случае необходимая скорость воздушного потока составит  $W = 0,8 \text{ м/с}$ , а эффективность разделения  $\chi_{75/25} = 54 \%$  по критерию Эдера-Майера.

Эффективное разделение шамота по границе 3,0 мм требует наклона решетки  $a = 60^\circ$  при угле наклона пластин  $b = 30^\circ$ . Необходимая скорость потока  $W = 3,9 \text{ м/с}$ , а эффективность разделения  $\chi_{75/25} = 55 \%$ .

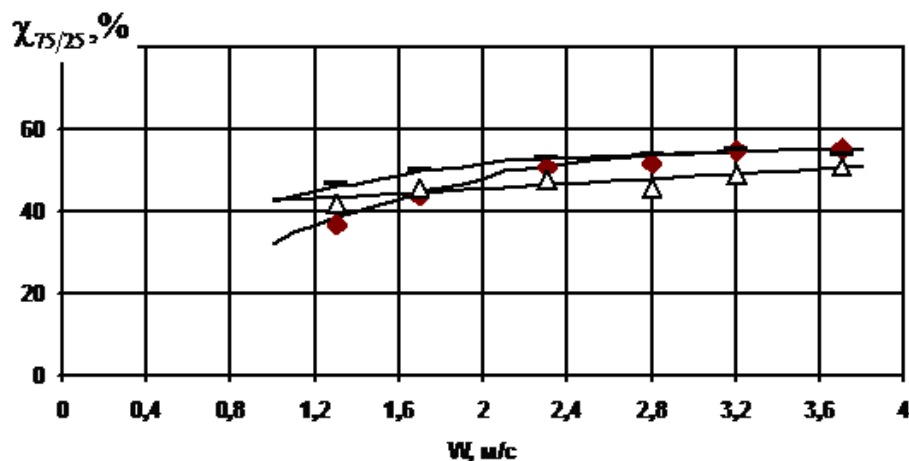


Рис. 3. Зависимость эффективности разделения от скорости воздушного потока при угле наклона решетки  $a = 60^\circ$ :  
 ♦ –  $b = 15^\circ$ ; Δ –  $b = 30^\circ$ ;  
 — —  $b = 45^\circ$

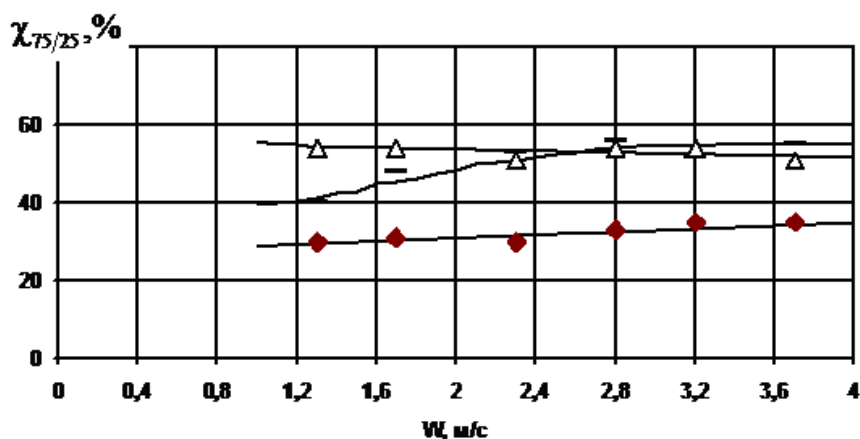


Рис. 4. Зависимость эффективности разделения от скорости воздушного потока при угле наклона решетки  $a = 75^\circ$ :  
 ♦ –  $b = 15^\circ$ ; Δ –  $b = 30^\circ$ ;  
 – –  $b = 45^\circ$

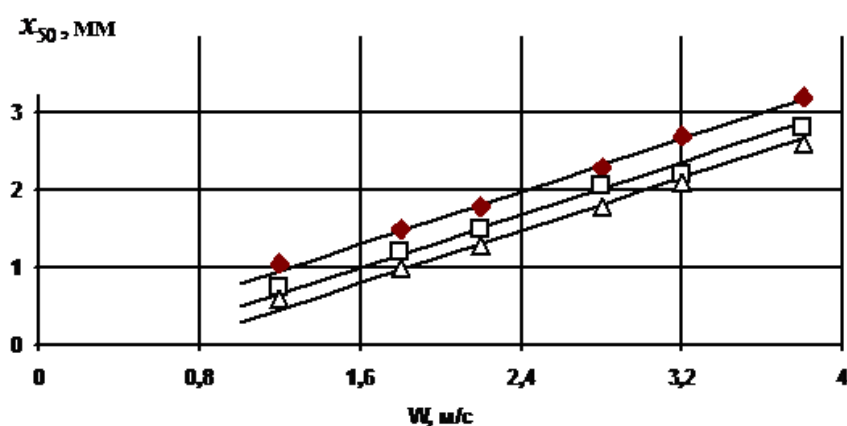


Рис. 5. Зависимость границы разделения от скорости воздушного потока при угле наклона решетки  $a = 60^\circ$ :  
 ♦ –  $b = 15^\circ$ ; Δ –  $b = 30^\circ$ ;  
 – –  $b = 45^\circ$

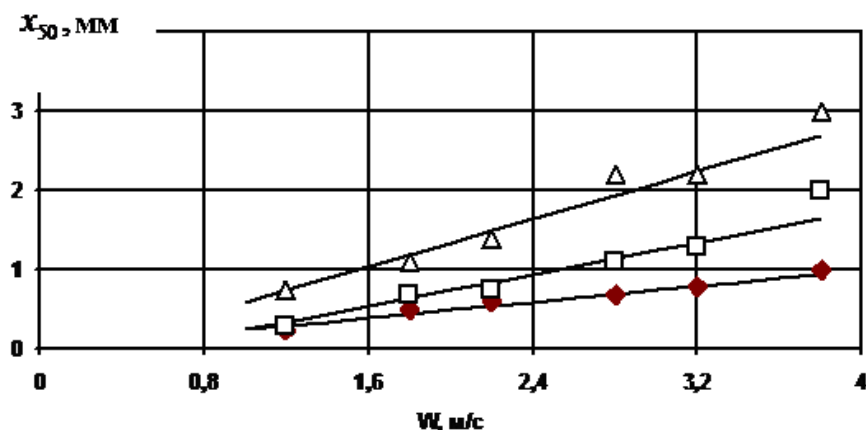


Рис. 6. Зависимость границы разделения от скорости воздушного потока при угле наклона решетки  $a = 75^\circ$ :  
 ♦ –  $b = 15^\circ$ ; Δ –  $b = 30^\circ$ ;  
 – –  $b = 45^\circ$

При проведении контрольных опытов на оптимальных углах наклона пластин и решетки пневмоклассификатора были получены следующие результаты.

При разделении по границе 0,5 мм ( $W = 0,8$  м/с;  $a = 75^\circ$ ;  $b = 45^\circ$ ) выход фракции крупнее 0,5 мм составил 72 % с загрязнением классами менее 0,5 мм – 5 %.

При разделении по  $X_{50} = 3,0$  мм ( $W = 3,9$  м/с;  $a = 75^\circ$ ;  $b = 45^\circ$ ) выход классов менее 3 мм равен 68 % с загрязнением крупными зернами 7 %.

Таким образом, по результатам исследований для фракционирования шамотного порошка, в целях улучшения эксплуатационных показателей, а также энерго- и ресурсосбережения, можно применять поперечно-поточный классификатор, обладающий достаточно высокой эффективностью, простотой конструкции и эксплуатации, не имеющий пылевыведения в окружающую среду.



## МАЛАЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

*Адиятуллина Ю. З.; Попов А. И.; Щеклеин С. Е.  
УрФУ, [ajulia12@rambler.ru](mailto:ajulia12@rambler.ru)*

Многороторные ветроэнергетические установки (ВЭУ) с индивидуальными электрогенераторами (ЭГ) не получили широкого распространения ввиду их высокой стоимости. Использование двух или более ветроколес на оси с одним общим ЭГ накладывает ряд ограничений по аэродинамике, т. к. их взаимодействующие вихревые потоки могут оказывать взаимное негативное влияние.

В связи с тем, что изготовление современными технологиями ветроколес малых размеров (штамповка, прессование, литье по выплавляемым моделям) значительно снизило стоимость ветроколес и обеспечило доступ к их массовому использованию в агрегатах небольшой мощности, целесообразно рассмотреть варианты некоторых многороторных конструкций использующих общий ЭГ.

Известны ВЭУ, содержащие несколько ветроколес в одном агрегате, например [1].

В этом устройстве на каждое ветроколесо необходим свой мультипликатор и свой генератор с последующим суммированием электрических мощностей с каждого из генераторов. Кроме того, для них также требуется система ориентации на направление потока ветра.

Известна также конструкция с несколькими ветроколесами, в которой суммирование усилий от ветроколес осуществляется механически с помощью шарнирных соединений, кривошипов и шатунов [2].

Недостатком подобных ВЭУ является их низкая надежность, необходимость отслеживания люфтов и зазора, шум от трения и ударов механических узлов, невозможность работы с быстроходными ветроколесами.

Известна, например, конструкция из двух соосно расположенных ветроколес, расположенных на некотором расстоянии и вращающихся в разные стороны [3].

Недостатками данного устройства являются необходимость во флюгере, ориентирующем на поток ветра, и в разнесении на значительное расстояние ветроколес с помощью жесткой п-образной скобы.

Известна также двухлопастная конструкция ВЭУ [4], являющаяся, по нашему мнению, наиболее работоспособной.

Недостатками данной конструкции являются необходимость разносить ветроколеса по высоте и на значительные расстояния друг от друга, чтобы они не находились в тени ветрового потока, а также необходимость в ориентации на направление ветра за счет большой разности длин консолей.

На кафедре «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» разработана ВЭУ более простой конструкции, не требующая системы ориентации на направление ветра и разнесение ветроколес на значительные расстояния, чтобы исключить их взаимное влияние.

Технические преимущества данного объекта по сравнению с известными заключаются в следующем:

- использованы два ветроколеса с контрроторным вращением, расположенные под небольшим углом друг к другу;

- использован суммирующий усилия от ветроколес мультипликатор, два входа которого подключены к осям ветроколес, а выход – к электрическому генератору.

Это позволяет исключить систему ориентации на направление ветра и суммировать мощности обоих ветроколес, через мультипликатор на электрический генератор.

На рисунке изображена схема ветроэнергетической установки, вид сверху.

Ветроколеса 1 и 2 с лопастями противоположной крутки расположены под углом « $\alpha$ » по отношению друг к другу, а их оси 3 и 4 подсоединены к выходам суммирующего мультипликатора 5, выход которого подключен к электрическому генератору 6. Мультипликатор и генератор размещены в гондоле 7 ВЭУ, которая имеет возможность поворачиваться относительно неподвижной мачты 8.

Ветроэнергетическая установка работает следующим образом.

Поток ветра «V» обходит корпус гондолы 7 и поступает на оба ветроколеса 1 и 2, расположенные под углом « $\alpha$ » по отношению друг к другу. Углы отклонения осей ветроколес от направления ветра незначительны, и некоторой потерей мощности можно пренебречь. Поскольку ветроколеса вращаются в разные стороны и не расположены на одной линии по направлению ветра, то их взаимное влияние имеет не отрицательный, а положительный эффект. Это объясняется тем, что между гондолой и ветроколесами создается разряжение воздуха, подсасывающее дополнительный поток ветра.

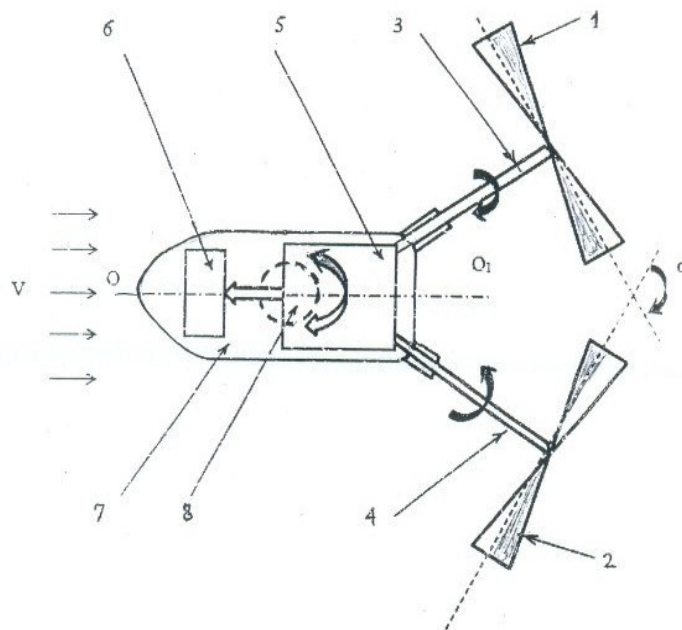
Ветроколеса имеют одинаковые параметры: диаметр и количество лопастей противоположной крутки, поэтому при вращении они взаимно себя уравновешивают относительно центральной оси «O–O<sub>1</sub>» по направлению ветрового потока.

Усилия вращения ветроколес через их оси 3 и 4 передаются на суммирующий мультипликатор 5, а выходной вал последнего вращает генератор 6.

При изменении направления ветра «V» гондола 7 поворачивается относительно мачты 8, отслеживая эти изменения до нового устойчивого положения конструкции.

Предлагаемая ветроустановка позволяет совместить в пространстве два независимых ветроколеса без их отрицательных воздействий друг на друга и таким образом получить большую полезную мощность.

Предлагаемая конструкция проста в реализации, не требует устройства ориентации на направление ветра и может найти широкое применение в народном хозяйстве.



Малая ветроэнергетическая установка

#### Библиографический список

1. Авторское свидетельство СССР № 1590625. МПК F03D 1/02. Ветроустановка. Автор Валенко В. И. Заявитель институт электродинамики АН УССР.
2. Авторское свидетельство СССР № 1130033. МПК F03D 1/02. Ветродвижитель. Автор Войцеховский Б. В. Заявитель институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева.
3. Авторское свидетельство СССР № 1333821. МПК F03D 1/02. Ветроустановка. Авторы Баланюк А. А., Мишин В. Ф. и др. Заявитель Кольский научный центр АН СССР.

## ЭВОЛЮЦИЯ В БИОЭНЕРГЕТИКЕ: ВОДОРОСЛИ – ТОПЛИВО БУДУЩЕГО

Архипова И.Г., Диденко Е.С., Мазанкина Д.В.  
Альметьевский государственный нефтяной институт  
teplotexAGNI@yandex.ru

Человечеству не грозит энергетический и экологический кризис, связанный с истощением запасов нефти, газа, угля и урана, если оно освоит технологии использования возобновляемых источников энергии и сможет найти оптимальное сочетание применения возобновляемых и не возобновляемых ресурсов.

Новая отрасль современной энергетики и научная дисциплина, объединяющая решение проблем получения топлива из биомассы и охраны окружающей среды, получила название «биоэнергетика». Потенциал биомассы, пригодной для энергетического использования, в большинстве стран достаточно велик, и его эффективному использованию уделяется значительное внимание.

Условно биомассу как сырье для производств энергоносителей можно разделить на 3 вида:

- пищевые масло- и сахаросодержащие наземные растения;
- непищевые, целлюлозосодержащие растения;
- непищевые водные растения (водоросли).

Этические, социальные, экономические и технические аспекты сдерживают развитие производства энергоносителей из первых двух видов биомассы. И чем явственней эти проблемы, тем больший вес приобретает третий вид биомассы – водоросли. Выращивание водорослей – это экономически эффективный способ получения горючего и разнообразного химического сырья из загрязняющих атмосферу планеты выбросов тепловых электростанций и других производств, поскольку одним из питательных компонентов является углекислый газ и окислы азота, которыми так богаты промышленные выбросы. Таким образом, в производстве энергоносителей они превращают углекислый газ из проблемы в фактор прибыли. При этом  $\text{CO}_2$  становится важнейшим ресурсом связанного углерода – ресурсом, который можно поставить на промышленную основу.

Кроме того, эти фотосинтезирующие микроорганизмы используются в технологиях очистки загрязнений окружающей среды и в качестве азотсодержащих биоорганических удобрений.

Помимо создания закрытого замкнутого цикла, осуществляемого в так называемых фотобиореакторах, в котором происходит как выработка, так и поглощение углекислого газа, водоросли имеют ряд других преимуществ. Так, например, они дают в 40 раз больше топлива, чем пальмовое масло, а их урожайность выше урожайности любой зерновой культуры в 100 раз.

Возможности применения:

- производство моторных топлив (бензинов, дизельного и авиационного топлива);
- использование для поглощения эмиссии углекислого газа промышленных и энергогенерирующих предприятий и его конверсии в моторные топлива и другие ценные продукты;
- при сжигании угля для получения энергии в атмосферу выбрасывается углекислый газ, который, изменив подход к процессу, можно направить в биореакторы с водорослями. Результат – экологическая и экономическая эффективность;
- в нефтехимии.

Актуальность получения моторных топлив из биомассы у большинства стран не вызывает сомнений. В США альтернативная энергетика стала одним из первых приоритетов, в которой предусматривается использование 20 % моторного топлива из биомассы в общем топливном балансе страны к 2017 году.

Быстро развиваются организации и компании, специализирующиеся на переработке водорослей в энергоносители. Правительство Японии планирует в ближайшие годы наладить промышленное производство биотоплива из водорослей. А в Германии разработали проект здания с энергообеспечением от водорослей, который планируется возвести в 2013 году.

В России же биоэнергетика развита не до таких масштабов, так как страна богата нефтью и газом. В связи с этим мы отстаем от Запада в разработке инновационных, современных технологий переработки биомассы наземного происхождения в жидкие энергоносители. Однако, в разработках биотоплива на базе водорослей, российские научные коллективы демонстрируют неплохие показатели.

## О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Архипова И.Г., Диденко Е.С., Сарачева Д.А.  
Альметьевский государственный нефтяной институт  
teplotexAGNI@yandex.ru*

Топливные элементы представляют собой очень эффективный, надежный, долговечный и экологически чистый способ получения энергии.

Первоначально применявшиеся лишь в космической отрасли, в настоящее время топливные элементы все активнее используются в самых разных областях — как стационарные электростанции, автономные источники тепло- и электроснабжения зданий, двигатели транспортных средств, источники питания ноутбуков и мобильных телефонов.

Топливный элемент (электрохимический генератор) — устройство, которое преобразует химическую энергию топлива (водорода) в электрическую в процессе электрохимической реакции напрямую, в отличие от традиционных технологий, при которых используется сжигание твердого, жидкого и газообразного топлива.

Это означает отсутствие шумных роторов высокого давления, громкого шума при выхлопе, вибраций. Топливные элементы вырабатывают электричество путем бесшумной электрохимической реакции. Другой особенностью топливных элементов является то, что они преобразуют химическую энергию топлива напрямую в электричество, тепло и воду.

Принцип работы заключается в следующем. Анод и катод разделяются электролитом, проводящим протоны. После того, как водород поступит на анод, а кислород — на катод, начинается химическая реакция. На катализаторе анода молекулярный водород диссоциирует и теряет электроны. Ионы водорода (протоны) проводятся через электролит к катоду, в то время как электроны пропускаются электролитом и проходят по внешней электрической цепи, создавая постоянный ток, который может быть использован для питания оборудования. На катализаторе катода молекула кислорода соединяется с электроном (который подводится из внешних коммуникаций) и с пришедшим протоном, образует воду, которая является единственным продуктом реакции (в виде пара и/или жидкости).

Реакция на аноде:  $2\text{H}_2 \Rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ .

Реакция на катоде:  $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ .

Общая реакция элемента:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ .

Топливные элементы являются аналогами существующих аккумуляторов. Но есть и принципиальные отличия:

- они работают только пока топливо и окислитель поступают от внешнего источника (т.е. они не могут накапливать электрическую энергию);
- химический состав электролита в процессе работы не изменяется (топливный элемент не нуждается в перезарядке);
- они полностью не зависят от электричества (в то время как обычные аккумуляторы запасают энергию из электросети);
- каждый топливный элемент создаёт напряжение в 1 В. Большее напряжение достигается последовательным их соединением. Увеличение мощности (тока) реализуется через параллельное соединение каскадов из последовательно соединенных топливных элементов;
- у топливных элементов нет жёсткого ограничения на КПД, как у тепловых машин (КПД цикла Карно является максимально возможным КПД среди всех тепловых машин с такими же минимальной и максимальной температурами);
- высокий КПД достигается благодаря прямому превращению энергии топлива в электроэнергию. У существующих топливных элементов КПД составляет 60-80 %;
- КПД почти не зависит от коэффициента загрузки;
- ёмкость в несколько раз выше, чем в существующих аккумуляторах;
- полное отсутствие экологически вредных выбросов. Выделяется только чистый водяной пар и тепловая энергия (в отличие от дизельных генераторов, имеющих загрязняющие окружающую среду выхлопы и требующих их отвода).

Проблемы топливных элементов.

1. Главная проблема топливных элементов связана с необходимостью наличия «упакованного» водорода, который можно было бы свободно приобрести. На настоящий момент водород получают из природного газа, но повышение стоимости энергоносителей повысит и цену водорода. При этом в водороде из природного газа неизбежно присутствие CO и H<sub>2</sub>S (сероводород), которые отравляют катализатор.

2. Распространённые платиновые катализаторы используют очень дорогой и невозполнимый в природе металл — платину. Однако данную проблему планируется решить использованием катализаторов на основе ферментов, являющихся дешёвым и легкопроизводимым веществом.

3. Проблемой является и выделяющееся тепло. Эффективность резко возрастет, если генерируемое тепло направить в полезное русло — производить тепловую энергию для системы теплоснабжения, использовать в качестве бросового тепла в абсорбционных холодильных машинах и т.п.

Топливные элементы используются для реализации энергосберегающих программ, позволяющих решать следующие задачи: экономия существенной части энергоресурсов, решение проблем ЖКХ, повышение эффективности производства и уменьшение нагрузки на окружающую среду.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРФА КАК ЭКОЛОГИЧНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕСУРСА

*Банникова М.Н., Тюрина Т.А., Гревцев Н.В., Горбунов А.В.  
Уральский государственный горный университет, IEF@ursmu.ru*

В последнее время перед человечеством остро встал вопрос сохранения среды обитания. В ходе своей жизнедеятельности люди в значительной степени изменяют природу, нанося непоправимый вред. Непрекращающиеся природные катаклизмы и погодные аномалии последних лет, а также глубокие и всесторонние исследования, проведенные учеными, показывают, что возможности природных систем по нейтрализации разрушительного воздействия человека на экологию планеты практически исчерпаны и уничтожение жизни на Земле, при сохранении существующих тенденций, вопрос ближайшего будущего.

На сегодняшний день перед мировой общественностью стоит задача не в ужесточении финансовых взысканий за нарушение экологических нормативов, а в кардинальном изменении жизненной позиции человечества. Стоит задача уже не в оптимизации экономических критериев деятельности и эффективного удовлетворения потребностей, а в перестройке всех процессов жизнедеятельности человека на совместимые с жизнью Планеты, иначе говоря, экологически безопасные.

Одним из наиболее негативных по отношению к экологии процессов, осуществляемым человеком, является добыча и использование энергетических ресурсов. В ходе вскрытия месторождений и добычи угля, газа, нефти происходит масштабное механическое вмешательство в недра земли, химические изменения атмосферы и литосферы, и в результате уничтожаются экологические системы огромных территорий, создаваемые природой в течение миллионов лет. Такие изменения необратимо нарушают экологический баланс Планеты, и восстановление данных местностей практически невозможно. А также уголь, нефть, газ являются не возобновляемыми ресурсами.

Использование энергетических ресурсов (сжигание) приводит к выбросам в атмосферу различных веществ. Выбросы могут перемещаться на длинные расстояния воздушными потоками или рассеиваться в воздухе. Запыление атмосферы и парниковые газы (метан, оксиды азота, двуокись углерода и др.) способствуют глобальному потеплению климата (табл. 1). Высокая зольность угля (до 40 %) приводит к накапливанию большого количества зольных остатков. Вырубка деревьев на топливо является экологическим преступлением, кроме того, древесина может быть использована более целесообразно.

Таблица 1

Удельные выбросы загрязняющих веществ при сжигании различных видов органического топлива (кг/т)

Энергетический ресурс	Твердые частицы	Углеводороды	Оксиды азота
Природный газ	0,05 – 0,20	0,03 – 0,30	5,00 – 20,00
Моторное топливо	2,00 – 8,00	10,00 – 40,00	15,00 – 60,00
Мазут	2,00 – 4,00	0,17 – 1,50	5,00 – 20,00
Уголь	1,00 – 100,00	0,10 – 1,20	5,00 – 20,00
Торф	5,00 – 20,00	0,10 – 0,20	15,00

В качестве решения задачи поиска экологически безопасного энергоресурса можно предложить использование торфа. Торф натуральный органический экологически чистый материал и использование продукции на его основе оказывает относительно низкое техногенное воздействие на природу.

Во-первых, разработка (вскрытие) торфяного месторождения заключается в свode болотной растительности и прокладывании осушительных каналов, и таким образом наносит минимальный ущерб природной среде, особенно в сравнении с вскрытием угольных месторождений.

Во-вторых, выработанное месторождение может быть использовано под застройку, для нужд сельского хозяйства, либо повторно заболочено.

В-третьих, технология добычи торфа (послойное срезание пластов и естественная сушка) очень проста, не требует больших трудо- и энергозатрат и также не наносит значительного вреда окружающей среде. Воздействие на окружающую среду торфяного производства ограничено локальными эффектами – нагрузкой на водные системы, запылением воздуха. Вода с торфяных полей не содержит ядов или опасных бактерий.

В-четвертых, торф относится к общераспространенным полезным ресурсам, энергетический потенциал торфа в пересчете на условное топливо превосходит суммарные запасы нефти и газа, уступая лишь углю и составляет 68,3 млрд тонн (соответственно: уголь – 97,0, нефть – 31,0, газ – 22,0 млрд тонн). Кроме того, торфяные ресурсы относятся к разряду возобновляемых, так ежегодный прирост торфа по официальным данным составляет 250 млн т., что в 50 раз превышает его добычу.

В-пятых, исторически торф являлся источником тепловой энергии. Фрезерный торф, а также в виде куска, брикетов и полубрикетов используется в качестве энергетического и коммунально-бытового топлива. Современные технологии позволяют получать до 350-450 тонн фрезерного топливного торфа с одного гектара за сезон. Добыча торфяного сырья на топливо в промышленных масштабах в России была начата в 20-х годах прошедшего столетия, и в период 1945-1960 гг. на торфе работало 58 электростанций, которые потребляли более 28 млн т.

В-шестых, разработка одного гектара торфяной залежи на топливо позволяет сохранить более 100 га леса, что ведет к сохранению лесных ресурсов за счет сокращения их вырубки на топливо.

В-седьмых, эмиссия вредных веществ в атмосферу при сжигании торфа значительно ниже, чем у других видов топлива (табл. 1), а по содержанию серы торф относится к малосернистым топливам (обычно менее 0,3 % на горючую массу), что является большим его преимуществом, ведь количество выделяющейся серы при сгорании напрямую зависит от ее содержания в топливе (табл. 2).



Таблица 2

## Факторы эмиссии при сжигании

Топливо	CO <sub>2</sub> , г/МДж	SO <sub>2</sub> , г/МДж	Зола, кг/МВт·ч
Фрезерный торф	106,0	201	10
Уголь	94,6	705	14
Мазут	77,4	464	0
Газ	56,0	0	0
Дрова	106-114	25	4

В-восьмых, торф местный и экологически чистый вид топлива. Его теплотворная способность достигает, а иногда и превышает калорийность низкосортных углей, что делает его конкурентоспособным с другими видами топлива (табл. 3). Мировая практика показывает, что цены на торф как на энергетическое сырье достаточно стабильны, в отличие от постоянно меняющихся цен на нефтегазовые топлива.

Таблица 3

## Теплота сгорания топлив

Вид топлива	Теплота сгорания, ккал/кг
Фрезерный торф	1950
Кусковой торф	2695
Торфяной брикет	3780
Торфокомпозиционные брикеты	6700

Торф не может полностью удовлетворить потребность человечества в энергетических ресурсах. Однако, частично заменить уголь, большую часть древесного топлива, а в некоторых случаях газ и мазут, снизив при этом негативное влияние на экологические системы, вполне возможно.

Все приведенные выше факторы говорят о необходимости и целесообразности использования торфа в энергетике, хотя бы в коммунально-бытовом хозяйстве. На современном этапе при принятии решений, в первую очередь, необходимо оценивать уровень воздействия процессов на окружающую среду, и использование торфа имеет ряд существенных преимуществ перед другими энергетическими ресурсами.

**ПОЛУЧЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА RDF**

*Барабанова Ю.А., Немихин Ю.Е., Щеклеин С.Е.*

*УрФУ, xiphiass@yandex.ru*

*Высокинская Р.В., Уральский филиал ГОУ ДПО «Академия стандартизации, метрологии и сертификации»*

В настоящий момент захоранивается на полигонах 98 % в РФ и 88 % в Екатеринбурге из общего количества твердых бытовых отходов (ТБО). Однако подобное нерациональное, бесперспективное отношение к отходам может привести, если действовать в соответствии с существующей схемой, к огромному количеству негативных последствий.

С целью уменьшения техногенной нагрузки на окружающую среду, защиты здоровья населения, снижения объемов складированных на свалках и полигонах отходов, устойчивого использования энергоресурсов и развития вторичного использования отходов предлагается внедрение технологии по производству топлива из твердых горючих отходов - *RDF* (*residue derived fuel*) [1].

*RDF* состоит из следующих основных компонентов: на 44-51 % из углерода, на 29-36 % из кислорода и на 5-7 % из водорода. Также присутствуют различные утяжелители и примеси. В небольших количествах содержится азот, сера, хлор, калий, натрий и другие элементы.



Внешний вид твердого топлива *RDF*

Способ производства твердого топлива, изготовленного из промышленных и бытовых отходов, заключается в том, что на первом этапе осуществляют сортировку промышленных и бытовых отходов на три группы: первая группа содержит крупногабаритные металлические объекты, химические источники тока (ХИТы), которые удаляются из общей массы исходных объектов для изготовления твердого топлива и впоследствии утилизируются; вторая группа содержит крупногабаритные промышленные и бытовые отходы; третья группа содержит отходы, которые по габаритным размерам меньше 150 мм; на втором этапе шнековой дробилкой уменьшают габаритные размеры (менее 150 мм); на третьем этапе отходы подают в горизонтальную установку разбивания для уменьшения их объема; на четвертом этапе в полученные в горизонтальной установке разбивания отходы добавляют известь, затем осуществляют формовку круглых брикетов при высоких давлении и температуре, сушку полученных круглых брикетов с образованием конечного продукта диаметром 15-30 мм, длиной 30-150 мм, калорийностью свыше 6000 ккал/кг и температурой горения свыше 1100 °C [2].

Недостатком описанного способа использования твердого топлива является то, что реализующая его установка для сжигания мусора подвергается повреждениям, обусловленным плохим качеством твердого топлива. Кроме того, такое сжигание отходов производства и потребления требует постоянства температуры, при которой происходит сжигание, которую очень трудно поддерживать, так как введение различных отходов с различной теплотворной способностью приводит к нежелательному изменению температуры сжигания отходов.

Негативное воздействие на окружающую среду в процессе сжигания твердого топлива (*RDF*) является относительно низким по сравнению с сжиганием промышленных и бытовых отходов.

К числу достоинств твердого топлива (*RDF*) можно также отнести то, что сгорание практически все время является безотходным. Твердое топливо длительное время можно хранить и транспортировать на относительно большие расстояния.

Показатель количества *RDF*, произведенного из одной тонны ТБО, определяется системой сбора ТБО, типом процесса получения топлива и рыночными требованиями к конечному продукту. Значение данного показателя в странах ЕС колеблется в пределах 250-750 кг *RDF* [3].

Предприятия, использующие твердое топливо из отходов, предъявляют к нему различные требования. С одной стороны, существуют требования к физическим свойствам, таким как влажность, зернистость, плотность. С другой стороны, задаются горюче-технические и химические свойства: теплотворная способность, температура возгорания, химический состав, зольность.

На мусоросортировочном комплексе (МСК) г. Екатеринбурга в перспективе планируется установить два пресс-компрессора для прессования так называемых «хвостов» (отходов, которые остаются после сортировки), что позволит снизить количество остатков, отправленных на тело полигона, а значит, позволит более рационально использовать его емкость. Также при работе с «хвостами» возможен запуск проекта по производству современного топлива *RDF* для цементных заводов региона.

Таким образом, отходы производства и потребления могут быть использованы предлагаемым способом в качестве альтернативного топлива, уменьшая эмиссию озоноразрушающих веществ, экономя природные ресурсы, тем самым способствуя устойчивому развитию человечества.

#### *Библиографический список*

1. Лебедев В.Н., Шубов Л.Я. О рациональных методах переработки твердых бытовых отходов // Экологический вестник Подмосковья: Информационно-справочный бюллетень Государственной комиссии по охране окружающей среды Московской области. М., 2006. С. 8-13.
2. Исследование газообразных продуктов сгорания топливных брикетов [Электронный ресурс]: URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2405027>.
3. Загрязнение окружающей среды. Энергия из отходов [Электронный ресурс]: URL: <http://www.technopark.by/iccee/eschool/presentations/recycle>.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕМОНТАЖА РАДИОАКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ВЫВОДЕ АЭС ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Батенков Д.И., Гуцин П.С., Фиш Н.А., Федоров К.Ю., Ташлыков О.Л.  
УрФУ, otashlykov@list.ru*

Атомная электростанция (АЭС), как и любой технический объект, имеет свой жизненный цикл, включающий этапы проектирования, изготовления оборудования, строительства, ввода в эксплуатацию, эксплуатации и вывода из эксплуатации.

Вывод АЭС из эксплуатации – процесс многолетний, включающий в себя прохождение энергоблоком ряда этапов демонтажа. Специфика АЭС требует

тщательной организационной, научной и технологической проработки и подготовки к выполнению работ, а также заблаговременного накопления финансовых и технических ресурсов на эти цели.

В настоящее время в стадии вывода из эксплуатации находятся энергоблоки № 1, 2 Белоярской (остановлены в 1983 и 1989 гг.) и Нововоронежской (остановлены в 1984 и 1990 гг.) АЭС. В недалеком будущем будут выводиться из эксплуатации энергоблоки АЭС, пущенные в эксплуатацию в 1970..80-е годы с учетом продления их проектного срока эксплуатации [1].

Одной из главных проблем вывода из эксплуатации энергоблока АЭС при составлении проекта производства работ (ППР), является то, что, как правило, исходная (проектная) информация о нем частично либо полностью отсутствует. Выполнение работ в процессе эксплуатации энергоблока по реконструкции, модернизации и замене оборудования приводят к тому, что на момент составления ППР, существующая проектная документация перестает быть актуальной и нуждается в дополнительной доработке.

В настоящее время вывод из эксплуатации Нововоронежской АЭС подошел к активной стадии. Вывод из эксплуатации блока АЭС должен осуществляться в соответствии со следующими основными принципами обеспечения безопасности:

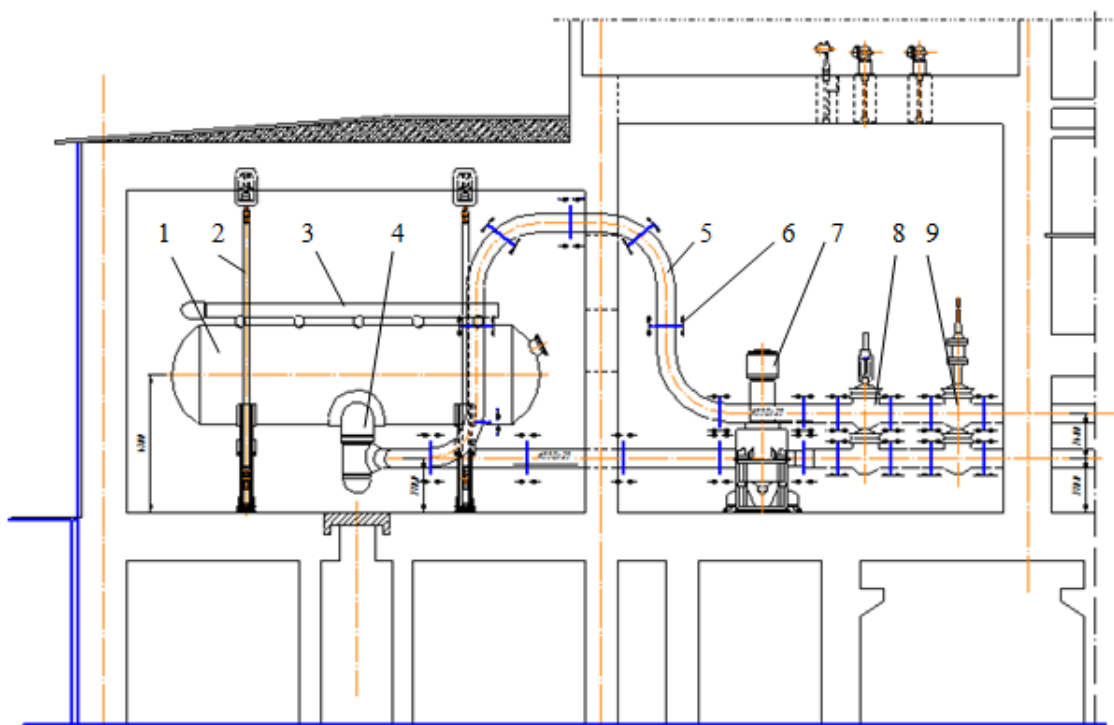
- должно обеспечиваться непревышение основных дозовых пределов и других нормативов облучения людей;
- радиационное воздействие на работников (персонал), население и окружающую природную среду должно быть снижено до минимальных разумных значений с учетом социальных и экономических факторов;
- не должны выполняться работы, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к основным дозовым пределам облучением.

Одной из основных является задача минимизации дозовых затрат персонала при демонтаже радиоактивного оборудования, имеющая важное социальное значение. Так, по предварительным оценкам, дозозатраты на работы по демонтажу оборудования одного энергоблока с РБМК-1000 составляют более 100 чел·Зв при трудозатратах примерно 1,5 млн. чел·ч [2].

Снижение облучаемости может быть достигнуто уменьшением времени пребывания в радиационных полях, увеличением расстояния от работающего до источника излучения, использованием защитных экранов.

Наибольший потенциал в снижении дозовых затрат имеет внедрение автоматизированных и роботизированных устройств для демонтажа оборудования и трубопроводов. Одновременно этот способ и наиболее дорогостоящий.

Эффективным направлением, не требующим значительных материальных затрат является оптимизация последовательности демонтажа элементов радиоактивных систем. Для решения данной задачи разработаны специальные алгоритмы, позволяющие за счет оптимизации последовательности демонтажных операций минимизировать дозовые затраты персонала [3].



Поперечный разрез боксов парогенератора и ГЦН: 1 – парогенератор; 2 – подвеска ПГ; 3 – паровой коллектор; 4 – коллектор теплоносителя; 5 – горячая нитка петли ГЦК; 6 – места резки трубопроводов ГЦК; 7 – ГЦН; 8, 9 – главная и резервная запорные задвижки

Сущность данной задачи заключается в том, что в отдельных помещениях и боксах энергоблоков, выводимых из эксплуатации, находятся объекты (трубопроводы, оборудование и т.д.) с различной степенью радиоактивности. Одновременно с этим трудозатраты на демонтаж каждого из этих объектов различны. Общая доза облучения, получаемая работниками при демонтажных работах в помещении или на площадке, будет зависеть от времени их пребывания в радиационных полях, создаваемых радиационно-опасными объектами.

В настоящее время на кафедре «Атомных станций и ВИЭ» УрФУ проводится работа по оптимизации последовательности демонтажа элементов главного циркуляционного контура (ГЦК) реакторной установки ВВЭР-210, в состав которого входит шесть циркуляционных петель. Каждая петля включает в себя парогенератор, четыре задвижки, главный циркуляционный насос (ГЦН), соединенные между собой и с реактором трубопроводами Ду-500 (рисунок).

Для подготовки к оптимизации проведены восстановление компоновочных чертежей ГЦК, разметка мест резки с учетом массогабаритных характеристик блоков, транспортных проемов, характеристик грузоподъемных средств, допустимой нагрузки на предполагаемые площадки промежуточного складирования блоков.

Маршрутная оптимизация будет проведена по уточненным значениям мощности дозы гамма-излучения после дополнительной дезактивации трубопроводов и оборудования.

### *Библиографический список*

1. Ташлыков О.Л., Сесекин А.Н., Щеклеин С.Е., Ченцов А.Г. Разработка оптимальных алгоритмов вывода АЭС из эксплуатации с использованием методов математического моделирования // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2009. № 2. С. 115-120.
2. Ташлыков О.Л., Сесекин А.Н., Щеклеин С.Е., Балушкин Ф.А., Ченцов А.Г., Хомяков А.П. Возможности математических методов моделирования в решении проблемы снижения облучаемости персонала // Вопросы радиационной безопасности. 2009. № 4. С.47-57.
3. Ташлыков О.Л. Дозовые затраты персонала в атомной энергетике. Анализ. Пути снижения. Оптимизация / О.Л. Ташлыков: монография. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. RG. 2011. 232 с.

## **К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВОЙ БАШНИ ВЭУ НА СКОРОСТЬ ВЕТРА**

*Батенков Д.И., Климова В.А.  
УрФУ, v.a.klimova@mail.ru*

В настоящее время в мире активно ведутся работы по созданию ветро-энергетических установок башенного типа. Это направление особенно актуально в России, так как для значительной территории нашей страны характерны ветры с низким потенциалом.

При создании ветроустановок башенного типа появляется возможность использовать ресурсы, предоставляемые традиционной энергетикой. В данной работе рассматривается возможность размещения тяговой башни ВЭУ над поверхностью пруда-охладителя АЭС.

Простейшая конструкция тяговой башни показана на рис. 1. Башня состоит из трубы и нижнего экрана. Холодный воздух поступает под экран по его периметру. На пути ко входу в трубу воздух нагревается за счет теплоты, поступающей от относительно горячей поверхности пруда-охладителя. Вследствие разницы температур воздуха внутри трубы и наружного воздуха возникает разность плотностей и, следовательно, разность давлений. Внутри трубы развивается поток воздуха, который и вращает ветроколесо.

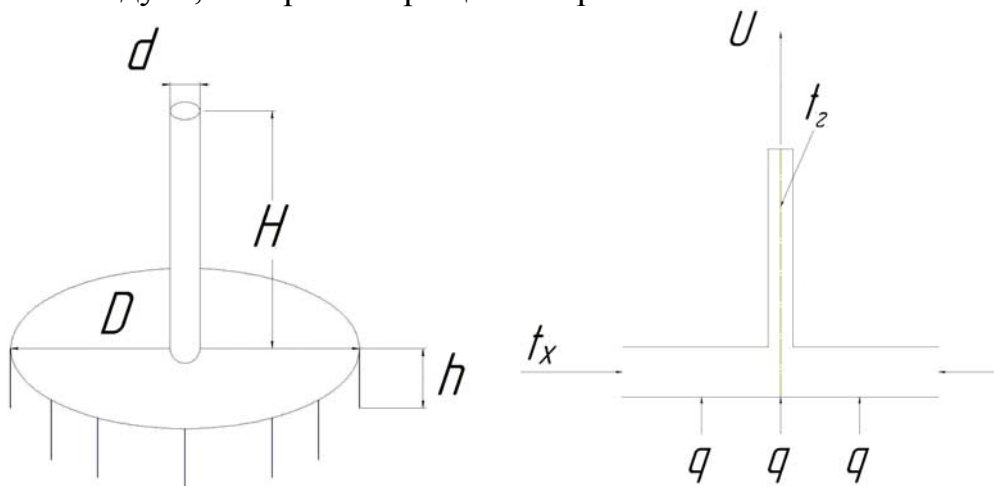


Рис. 1. Тяговая башня для размещения ветроустановки над прудом-охладителем

Основные геометрические размеры тяговой башни, влияющие на скорость течения в трубе – это высота и диаметр трубы, диаметр нижнего экрана и величина зазора между экраном и поверхностью пруда.

Диаметр трубы  $d$  должен быть как можно меньше, чтобы подавить горизонтальные токи внутри трубы. Минимальное значение  $d$  определяется из технологических соображений: нужно обеспечить возможность монтажа ветроколеса внутри трубы.

Высота трубы  $H$  может быть определена по нижеприведенной методике. Развиваемый напор  $\Delta p$  вычисляется по формуле

$$\Delta p = H \cdot (\rho_x - \rho_r) \cdot g, \quad (1)$$

где  $H$  – высота трубы, м;  $\rho_x$  и  $\rho_r$  – плотность холодного и горячего воздуха, кг/м<sup>3</sup>, соответственно;  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения.

С другой стороны, напор связан со скоростью течения соотношением [1]:

$$\Delta p = 0,5\rho_r U^2 + \Delta h_{\text{пот}}, \quad (2)$$

где  $U$  – скорость воздуха в тяговой трубе, м/с;  $\Delta h_{\text{пот}}$  – величина потерь на гидравлическое сопротивление, Па.

Без учета гидравлических потерь скорость течения и высота трубы связаны соотношением

$$H = \frac{\Delta p}{2(\rho_x - \rho_r) \cdot g} = \frac{\rho_r U^2}{2(\rho_x - \rho_r) \cdot g}. \quad (3)$$

Выбор диаметра экрана  $D$  и величины зазора  $h$  влияют на количество теплоты, переданное от пруда-охладителя воздуху. По уравнению теплового баланса:

$$Q = \alpha \cdot (t_n - t_b) \cdot F = G \cdot c_p \cdot (t_r - t_x), \quad (4)$$

где  $\alpha$  – средний коэффициент теплоотдачи от поверхности пруда к воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t_n$  – средняя температура поверхности пруда, К;  $t_b$  – средняя температура воздуха под экраном, К;  $F = \pi(D^2 - d^2)/4$  – площадь поверхности экрана, м<sup>2</sup>;  $G = U \cdot F_T \cdot \rho_r$  – массовый расход воздуха через трубу, кг/с;  $F_T = \pi d^2/4$  – площадь сечения трубы, м<sup>2</sup>;  $c_p$  – коэффициент теплоемкости воздуха, Дж/(кг·К).

Коэффициент теплоотдачи можно оценить по формуле [1]:

$$\alpha = Nu \cdot \lambda / h = 7,6 \cdot \lambda / h, \quad (5)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м·К);  $Nu$  – число Нуссельта, характеризующее теплообмен в зазоре между экраном и поверхностью пруда.

При определении  $Nu$  необходимо учитывать:

- естественную конвекцию, возникающую в зазоре за счет разницы температур поверхности пруда и экрана;
- вынужденную конвекцию, т.е. течение в зазоре, возникающее за счет тяги в трубе;
- градиент скорости в направлении течения, связанный с уменьшением площади сечения зазора от периферии к центру.

Здесь следует пояснить: при постоянном расходе воздуха, равном расходу через трубу, скорость воздуха в каждом сечении зазора  $U_r = G_v / F_r$  определяется площадью сечения  $F_r = 2\pi r h$ , где  $r$  – текущее значение радиуса экрана, из-

меняется от  $0,5D$  на периферии до  $0,5d$  в центре. Согласно исследованиям [2], наличие градиента давления оказывает существенное влияние на теплообмен и гидродинамическое сопротивление.

Из (4) следует, что диаметр экрана и диаметр трубы связаны соотношением:

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{d^2 \cdot U \cdot c_p \cdot (t_e - t_x) \cdot h}{Nu \cdot \lambda \cdot (t_n - t_e)}}. \quad (6)$$

Чтобы установить, как величина зазора  $h$  влияет на скорость течения в тяговой трубе, было проведено компьютерное моделирование, результаты которого представлены на рис. 2. Компьютерная модель представляла собой тяговую трубу диаметром  $d = 3$  м и высотой  $H = 25$  м с экраном диаметром  $D = 60$  м. Температура поверхности пруда-охладителя принята  $30^\circ\text{C}$ , температура воздуха –  $20^\circ\text{C}$ . Величина зазора  $h$  варьировалась от  $0,5$  до  $3$  м.



Рис. 2. Зависимость скорости течения в тяговой трубе от величины зазора

Как показали расчеты, для получения большей скорости нужно выбирать минимально возможную технологически величину зазора. Однако здесь требуются дополнительные исследования, потому что тяга, развиваемая в трубе, может способствовать засасыванию воды с поверхности пруда-охладителя в трубу и образованию волны в пространстве между поверхностью пруда и экраном.

Аналитическое решение задачи выбора основных геометрических размеров башни осложняется зависимостью между температурами воздуха в трубе и в зазоре между экраном и поверхностью пруда и геометрическими размерами установки, а также большим количеством факторов, влияющих на теплообмен в зазоре. Поэтому в данный момент ведется работа по компьютерному моделированию задачи и получению на его основе упрощенных зависимостей, которые можно будет использовать в инженерных расчетах.



### *Библиографический список*

1. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.
2. Зубков В.Г. Об изменениях структуры турбулентных течений под действием ускоренного потока // ИФЖ. 1990. Т. 59. № 2. С. 196-202.

## **ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТАРАН**

*Биргалина Г.В., Пташкина-Гирина О.С.  
Южно-Уральский государственный университет  
guzelinka@bk.ru*

Текущая в естественных условиях вода может быть носителем механической (гидравлической) энергии. Поскольку под влиянием солнечной энергии происходит непрерывный круговорот воды в природе, то все три вида энергии относятся к возобновляемым ресурсам.

Территория Челябинской области – водораздел Европейской части России и Западной Сибири, район, где реки в основном начинают свое течение. Поэтому 98 % их относится к малым рекам с мощностью менее 2 тыс. кВт. Тем не менее, на таких водотоках можно возводить малые гидроэнергетические установки.

По результатам исследований на территории Челябинской области находятся 412 гидроузлов, абсолютное большинство из них (97 %) – низконапорные, с напором менее 10 м [1].

Устройство, преобразующее гидравлическую энергию и позволяющее повысить напор на низконапорных гидроузлах для микроГЭС или подать воду на необходимый уровень без использования дополнительных источников энергии, это незаслуженно забытый гидравлический таран.

Гидравлический таран, простое устройство, которое служит для подъема воды на значительную высоту. Не требует для работы каких-либо внешних движителей, благодаря чему может быть весьма полезно в местности, где нет электроснабжения либо в местности, малообжитой и редкопосещаемой. Энергию для работы насос получает из потока воды, перетекающего под действием силы тяжести из так называемого «питающего» резервуара (например, из запруды на реке) по «питающей» трубе в какой-либо нижерасположенный сток (например, в ту же реку ниже по течению).

Работа данного устройства основана на периодически повторяющемся гидравлическом ударе, который происходит за счет разгона воды через ударный клапан 2 (рис. 1) с последующим резким закрытием клапана и возникновением давления. Жидкость под давлением гидроудара подается через нагнетательный клапан 3 в воздушный колпак 4 и далее по нагнетательной трубе 5 потребителю. Через период нагнетания давление под ударным клапаном 2 падает, ударный клапан 2 открывается, и процесс повторяется [2].

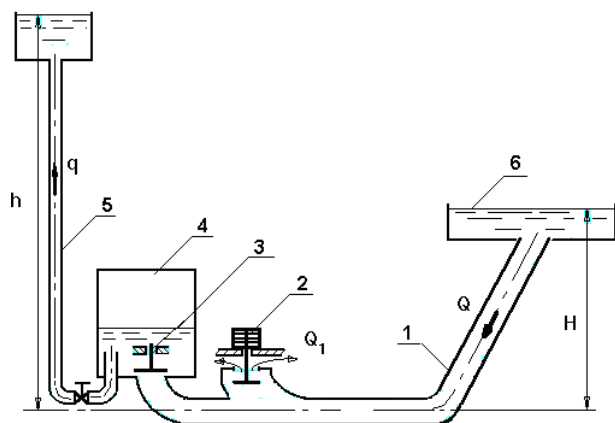


Рис. 1. Принцип устройства гидротарана:  
1 – питательная труба, 2 – ударный клапан,  
3 – нагнетательный клапан, 4 – воздушный  
колпак, 5 – нагнетательная труба,  
6 – питательный резервуар (плотина)

Гидравлический таран на практике может быть применен как устройство для орошения земли. Действующая установка для орошения земли работает на реке Карагулька, село Шатрино Троицкого района

Челябинской области. Орошаемый участок находится выше уровня установки тарана на 15 м (рис. 2.). Необходимый напор при капельном орошении около 5 м. Таким образом, таран с диаметром питательной трубы 100 мм проектировался на плотину в 2 м и выходным напором в 21 м (с учётом потерь напора). С учётом среднегодового выпадения осадков и нормы полива свеклы в вегетационный период, был получен необходимый максимальный секундный расход полива на единицу площади полива. В результате применения методики расчёта гидротарана была получена рабочая точка на характеристике гидротарана при регулировке хода и массы ударного клапана на максимальный расход. Расход гидротарана составил около 25 л/мин. Получили, что в самый тяжёлый период полива таран при данных условиях способен обеспечить площадь полива в 1 га. Экономический расчёт показал, что установка тарана окупается и приносит прибыль в первый же сезон полива. Если использовать установку водонапорной башни, то площадь полива можно увеличить примерно в три раза за счёт постоянной подачи тараном воды в башню и последующим распределением воды в нужное время для полива.

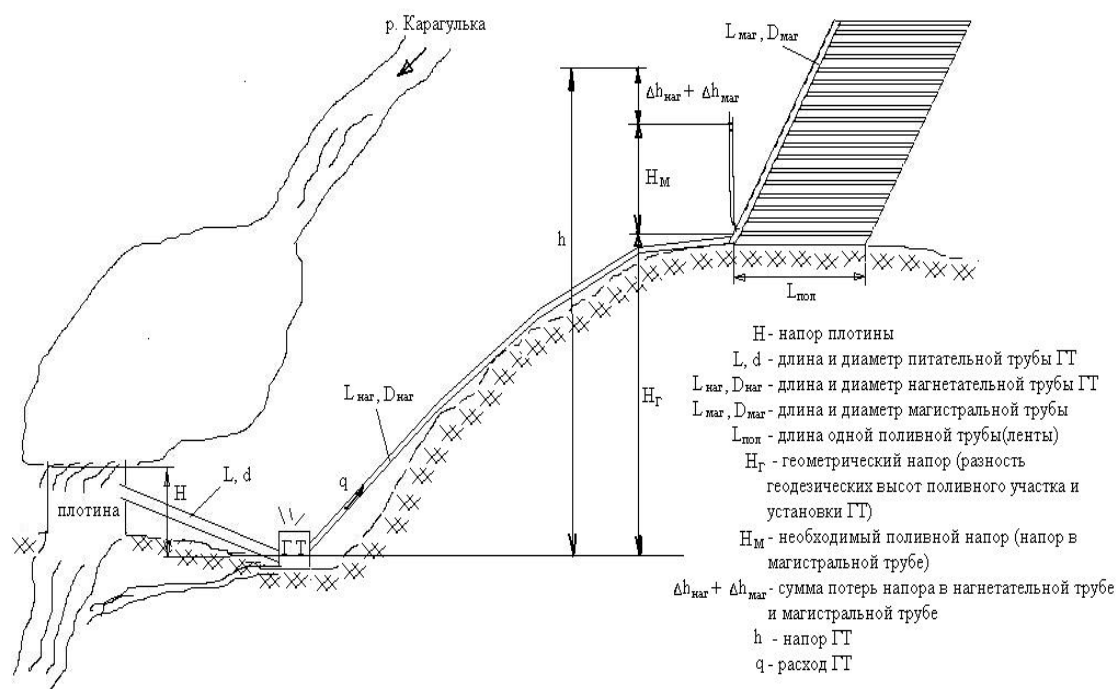


Рис. 2. Схема орошения сельскохозяйственных культур с применением гидротарана

Таким образом, гидротаран может стать альтернативой бензо- и дизель-генераторов и сэкономить органическое топливо.

#### *Библиографический список*

1. Саплин Л.А., Пташкина-Гирина О.С. Гидроэнергетический потенциал стока рек Южного Урала // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 12. С. 67-69.
2. Овсепян В.М. Гидравлический таран и таранные установки. М.: Машиностроение, 1968. 124 с.

## **РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ГОРОДЕ ЧЕЛЯБИНСКЕ**

*Бодрова Е.С., Нараева Р.Р.  
Южно-Уральский государственный университет  
Lennok13@mail.ru*

Проблема рациональной утилизации твёрдых бытовых отходов (ТБО) является актуальной на сегодняшний день. Челябинск – крупный промышленный центр с населением более 1 млн чел. Ежедневно на территории города образуется около 15000 т отходов, что в год составляет примерно 600000 т. Все эти отходы в настоящее время складировются на единственной городской свалке, эксплуатируемой с 1949 года, и на более чем 50 несанкционированных свалках. Городская свалка давно не отвечает никаким санитарным требованиям. У жителей, проживающих вблизи свалки, отмечается повышенная заболеваемость, смертность и рождение детей с уродствами. Весной и летом 2012 года свалка воспламенялась и горела несколько раз. Пожар охватил порядка 7 га. А при сгорании 1 т ТБО образуется около 300-500 м<sup>3</sup> продуктов сгорания, содержащих примерно 15 % углекислого газа.

ТБО – это неисчерпаемое топливо и богатый источник вторичных ресурсов. Не использовать потенциал ТБО является крайне неразумным решением. Спецификой ТБО является сложный морфологический состав, приведенный в табл. 1. ТБО состоят из органического и неорганического вещества.

Таблица 1

Морфологический состав ТБО г. Челябинска (на 2000 год)

Компонент	Количество, %
Пищевые отходы	34,6
Бумага, картон	21,9
Стекло	11,9
Полимерные материалы	9,8
Текстиль	3,9
Консервные банки	3,0
Черный и цветной металлолом	2,0
Древесина	2,0
Прочее	10,9

Наиболее рациональным способом обращения с твёрдыми бытовыми отходами в г. Челябинске является комбинирование двух наиболее экономически и экологически привлекательных способов, то есть строительство мусороперерабатывающего комплекса (МПК) и нового полигона ТБО с получением сва-

лочного газа (СГ). Стоит отметить, что из общего количества метана, более 20 % образуется на объектах захоронения ТБО. Утилизация СГ и переработка ТБО позволяют снизить выбросы парниковых газов в атмосферу, что улучшает экологическую обстановку города.

Возможный процент извлечения вторичного сырья из ТБО без предварительной сортировки для Челябинска составляет 11,6...25 %, то есть примерно 70000-150000 т ТБО. При внедрении отдельного сбора ТБО процент извлечения можно увеличить до 40 %. Решение проблемы утилизации ТБО данным методом позволяет сэкономить природное топливо, воду и электрическую энергию (табл. 2).

Таблица 2

Материал	Прибыль от МПК			
	Энергия, сэкономленная в результате переработки, %	Предотвращение выбросов углекислого газа, т CO <sub>2</sub> /т материала	Цена 1 т переработанного материала, руб.	Выручка на 1 т сокращения выбросов CO <sub>2</sub> , руб.
Макулатура	45	0,5	4000	400
ПЭТ бутылка	80	0,8	13000	1200
Стекло	21	0,8	900	240
Алюминий	96	0,8	45000	5300

СГ образуется в результате анаэробного разложения органических отходов и состоит примерно на 55 % из метана, на 35 % из диоксида углерода и различных примесей – 10 %.

Оптимальный срок эксплуатации полигона составляет 20 лет. Средний объем образовавшегося СГ на полигоне ТБО за год составляет 65 млн. м<sup>3</sup>, что соответствует 39 млн. м<sup>3</sup> природного газа, или 48 млн. м<sup>3</sup> нефти. При практическом энергетическом потенциале СГ 1,5 кВт·ч/м<sup>3</sup> в год может быть получено 97,5 ГВт·ч электрической энергии. Эта энергия полностью покрывает собственные нужды как полигона ТБО, так и МПК. Также этой энергии достаточно, чтобы снабдить электрической энергией около 20000 квартир, прибыль при продаже этой энергии потребителю составляет 175 млн руб. в год (при стоимости 1 кВт·ч 2,5 руб.).

В результате реализации данного проекта прибыль будет получена от продажи переработанного материала, продажи квот на выбросы парниковых газов, продажи электрической или тепловой энергии потребителю. Окупаемость проекта составит приблизительно 5 лет. Для реализации данного проекта потребуются соответствующий законопроект, крупные инвесторы (стоимость проекта 12 млрд руб.) и государственная поддержка.

#### *Библиографический список*

1. Ильиных Г.В. Использование результатов определения морфологического состава твердых бытовых отходов для обоснования системы обращения с отходами // Вестник ПНИПУ. 2011. Вып. 3. С. 39-42.
2. Пути снижения энергоемкости и выбросов парниковых газов: Основные выводы. Энергоэффективная Россия [Электронный ресурс]: McKinsey & Company, 2009. 156 с. URL: [http://esco-ecosys.narod.ru/2011\\_6/art230.pdf](http://esco-ecosys.narod.ru/2011_6/art230.pdf)

3. Шаимова А.М. Разработка математической модели образования биогаза на полигонах ТБО / А.М. Шаимова, Л.А. Насырова, Г.Г. Ягафарова, Е.Г. Ильина, Р.Р. Фасхутдинов // Нефтегазовое дело. 2009. Т. 7. № 1. С. 138-139.

4. Материалы официального сайта администрации г. Челябинска [Электронный ресурс]. URL: <http://cheladmin.ru>

## **РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ**

*Бодылевская Т.А., Сафин Р.Р., Белякова Е.А.*

*Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, [elena.aleksandr@mail.ru](mailto:elena.aleksandr@mail.ru)*

Мировые запасы нефти и газа постоянно уменьшаются, в результате чего внедрение возобновляемых ресурсов является одной из наиболее актуальных проблем экономики и промышленности. При этом одной из актуальных проблем лесного комплекса является использование древесных и растительных отходов, образующихся при лесозаготовке, лесопереработке и деревопереработке. Доля таких отходов составляет до 60 % от объемов готовой продукции, при этом древесная и растительная биомасса является перспективным возобновляемым источником энергии.

Однако древесная и растительная биомасса имеет ряд существенных недостатков при энергетическом использовании: нестабильность топливных свойств и гранулометрического состава, гигроскопичность, низкая энергетическая плотность. Все это приводит к снижению эффективности энергетического использования древесных и растительных отходов. При этом использование биомассы в качестве топлива практически не приспособлено к существующей производственной инфраструктуре, ориентированной на потребление ископаемых ресурсов.

Топливные гранулы представляют экологически чистое топливо с содержанием золы не более 3 %. При сжигании гранул в атмосферу выбрасывается ровно столько  $\text{CO}_2$ , сколько было поглощено растением во время роста. Гранулы менее подвержены самовоспламенению, так как не содержат пыли и спор, которые также могут вызывать аллергическую реакцию у людей. Гранулы отличаются от обычной древесины низкой влажностью ( $W = 8...12\%$  – топливные гранулы,  $W = 30...50\%$  – дрова) и большей плотностью (примерно в полтора раза).

Данные качества обеспечивают высокую теплотворную способность топливных гранул по сравнению со щепой или дровами – при сгорании тонны гранул выделяется приблизительно 5000 кВт·ч тепла, что в полтора раза больше, чем у обычных дров.

Преимущество гранул – это высокая и постоянная насыпная плотность, позволяющая относительно легко транспортировать этот товар. Благодаря правильной форме, небольшому размеру и однородной консистенции гранулы можно пересыпать через специальные рукава, что позволяет автоматизировать процессы погрузки разгрузки и также сжигания этого вида топлива.

Таким образом, актуальными являются разработка способов изменения свойств частиц древесных и растительных отходов с целью их дальнейшего использования в качестве сырья для топливных гранул с повышенными эксплуатационными свойствами; а также создание и внедрение новой экологически чистой технологии получения высокотемпературной тепловой энергии и термической обработки древесного и растительного сырья, позволяющей получить гранулированное биотопливо с повышенной удельной теплотой сгорания, влажостойкостью и устойчивостью против гниения и биологического разложения и уменьшенным удельным весом.

Одним из направлений изменения свойств частиц древесных и растительных отходов является их термическая обработка в среде топочных газов с содержанием кислорода не более 6 % при температурах 220–260 °С в течение 15–20 мин, что приводит к структурным и химическим изменениям в растительном сырье и вызывает изменение его физических и физико-химических свойств.

При этом нижняя граница температурного режима определяется началом термического разложения растительного сырья, молекулы сырья приобретают подвижность и при данной температуре способность к разрыву с отщеплением углеродсодержащих групп и образованием новых веществ с меньшим молекулярным весом. Верхняя граница 260° С определяется с учетом того, что при дальнейшем повышении температуры может начаться экзотермический процесс и неконтролируемое разложение сырья. В интервале температур 220–260 °С происходит практически полное разложение гемицеллюлоз, в результате чего существенно снижается объем материала, чувствительного к грибку, что приводит к повышению показателей устойчивости к биоразрушению, снижается концентрация гидроксильных групп, что приводит к снижению гигроскопичности и повышению влажостойкости термообработанного сырья и повышению объемного теплосодержания биомассы, что в свою очередь вызывает снижение затрат на перевозку готовой продукции.

Сырьем для производства гранулированного биотоплива являются отходы деревообработки, образующиеся на лесопильном и столярном производствах, а также растительные отходы – дрова, кора, ветви, пни, лесосечные отходы, отходы деревообрабатывающих и мебельных производств, лигнин, отходы зерноочистительных производств, различные виды соломы и стеблей растений, например пшеница, рис, лен, кукуруза, подсолнечник, хлопчатник, тростник, плодовые косточки и ореховая скорлупа и т.д.

Технологический процесс, осуществляемый в рамках предлагаемой технологии, состоит из следующих операций:

- предварительное измельчение биомассы;
- сжигание с получением тепловой энергии для осуществления процесса;
- предварительная сушка влажной биомассы;
- термообработка и охлаждение термообработанной биомассы;
- доизмельчение термообработанной биомассы;
- гранулирование и охлаждение;

- сепарация и упаковка готовой продукции.

Предлагаемая экологически чистая технология сжигания биомассы позволяет получить высокотемпературный теплоноситель и термически модифицировать отходы растительного происхождения без доступа кислорода воздуха с последующим их гранулированием и получением биотоплива с повышенным объемным теплосодержанием, влагостойкостью и устойчивостью против гниения и биологического разложения и уменьшенным удельным весом.

В результате данная технология позволяет:

- повысить объемное теплосодержание биотоплива на 20–25 %;
- снизить затраты на перевозку биотоплива на 20–25 %;
- снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, связанную с производством тепловой и электрической энергии коммунальными и промышленными энергетическими установками при использовании ископаемых видов топлива.

#### *Библиографический список*

1. Кашкаров А.П. Современные био-, бензо-, дизельгенераторы и другие полезные конструкции. М.: ДМК Пресс, 2001. 136 с.

## **К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИИ ВЭУ С МАКСИМАЛЬНО ШИРОКИМ ДИАПАЗОНОМ ИСПОЛЪЗУЕМЫХ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА**

*Вальцева А.И., Щеклеин С.Е.  
УрФУ. e-mail: Alex-Liga@yandex.ru*

Ветер – это один из наиболее мощных возобновляемых источников энергии, установлено, что энергоемкость ветра в 100 раз превышает энергетические гидрозапасы и ресурсы планеты. Но развитие ветроэнергетики сдерживают несколько факторов.

Существующие конструкции ВЭУ представляют практический интерес только в регионах, обладающих вектором перемещения атмосферных масс воздуха у поверхности земли или воды со скоростью 8,0–24,4 м/с, что имеет место исключительно в степных и приморских районах, при освоении морского шельфа. Ветер со скоростью менее 3,4 м/с (легкий ветер) имеет ничтожно малую кинетическую энергию. Максимальная мощность одной ВЭУ из известных прототипов составляет 5 МВт, что исключает транспортировку электроэнергии от ветроэнергетических генераторов на значительные расстояния и ограничивает ее потребление местом производства, резко сужая ареал распространения и применимости ВЭУ, их долю и значение в мировой энергетике. Качество производимой ВЭУ электроэнергии ниже, чем от иных энергетических источников. Последнее обуславливается аэродинамической нестабильностью природного энергоносителя, а именно атмосферно-воздушных потоков, что ведет к неустойчивой работе турбины и электрогенератора ВЭУ, колебаниям, пульсациям, пиковым значениям и иным отклонениям от номинала в запитанных от нее электрических сетях.

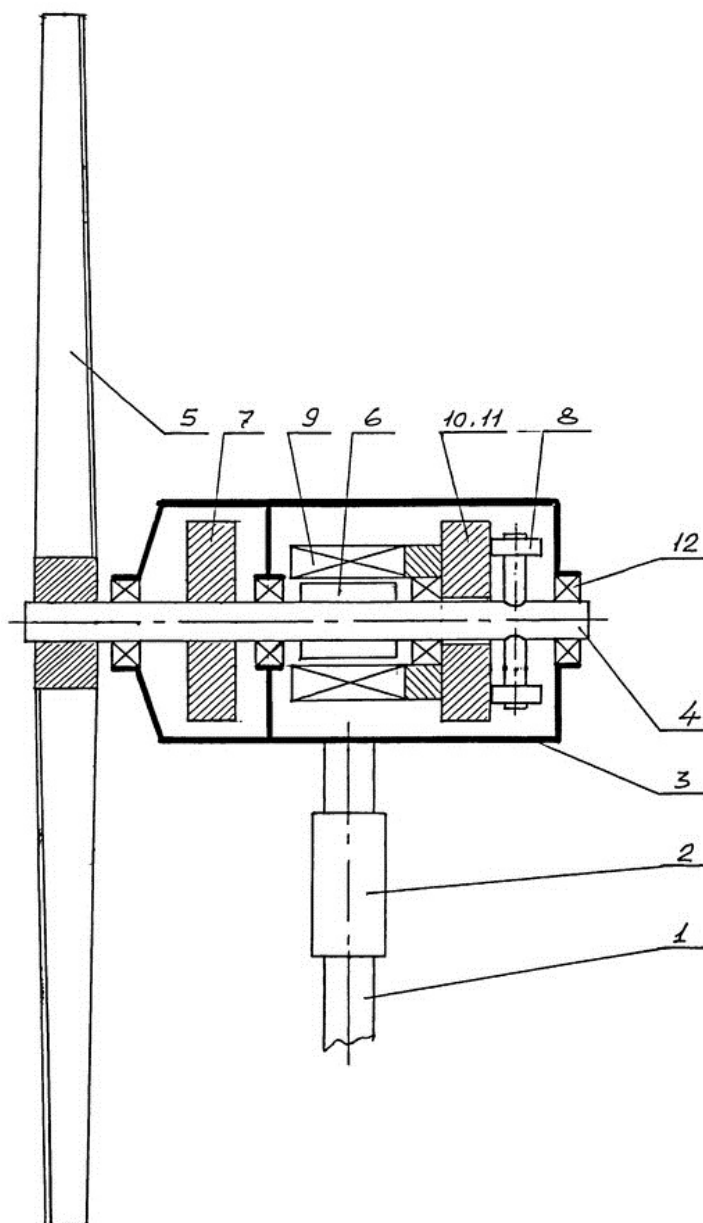


Рис. 1. Контрроторная ВЭУ содержит опорную конструкцию (1) с поворотным узлом (2) и установленной выше него гондолой (3), в которой размещен общий для всего устройства вал (4) с жестко закрепленными на нем турбиной (5), ротором (6), инерционным маховиком (7) и бегунками (8) фрикционной, планетарной или иной механической передачи и преобразователя вращательного движения вала на противоположно направленное вращение заданного элемента. На тот же вал надет свободно вращающийся контрроторный узел в составе генераторной обмотки (9), инерционного маховика (10) и ведомого колеса (11) механически преобразующей передачи. Общий вал (4) с размещенными на нем элементами (5, 6, 7 и 8), контрроторный узел (9-11) вращаются в подшипниковых опорах (12).

Проблема расширения диапазона работы ВЭУ при малых скоростях ветра в основном решается за счет механического наращивания габаритов трехлопастных турбин пропеллерного типа, таким примером могут

служить быстроходные ВЭУ серийной модели E-112 мощностью 4,5 МВт фирмы «Enercom GmbH» с турбиной диаметром 104 м и весом около 20 т. При этом столь значительная масса турбины служит не столько для обеспечения высокой мощности энергоустановки, сколько для придания механизму значительной инерции, гарантирующей необходимое качество вырабатываемой электроэнергии в среде нестабильных воздушных потоков. Массивные турбины в силу их высокой инерции сглаживают пульсации ветряного потока и его шквальные порывы до 12 м/с, а при падении скорости ветра ниже критического значения и при безветрии длительное время продолжают свое вращение, что позволяет повысить качество электроэнергии, получаемой от ВЭУ. С другой стороны, большой размах лопастей делает такие турбины уязвимыми при сильном штормовом ветре (от 24,5 м/с) и тем более при урагане (от 32,6 м/с).



С целью обеспечения работоспособности ВЭУ при малых скоростях ветра, взамен применения традиционных крупногабаритных установок, возможно использование контрроторного ветродвигателя, оснащенного одной турбиной, ось вала которого размещена коаксиально относительно соосного положения валов ротора и контрротора. Вал турбины оснащен двумя ведущими элементами, один из которых соединен гибкой связью с валом ротора (контрротора), а второй – перекрещенной гибкой связью с валом контрротора (ротора), так что ротор и контрротор имеют вращение в противоположные стороны. На валу турбины установлен инерционный маховик (рис. 1).

Однако рассмотренные выше варианты все равно относятся к быстроходным ВЭУ, имеющим ограниченный диапазон используемых скоростей ветра. Кардинальным решением проблемы может быть разработка конструкции вертикально-осевой тихоходной (многолопастной) ветроустановки, которая позволит использовать максимально широкий диапазон скоростей ветра. Коэффициент быстроходности ВЭУ–  $Z$  определяется отношением окружной скорости концов лопастей к скорости ветра  $v$ :

$$Z = \frac{\omega R}{v} = \frac{u}{v},$$

где  $R$  – радиус окружности, ометаемой концевыми элементами лопастей;  $\omega$  – угловая частота,  $\omega = \frac{\pi n}{30}$  [рад/с];  $u$  – окружная скорость на концах лопастей,

$u = \frac{\pi D n}{60}$  [м/с]. Для тихоходных ВЭУ, с большим количеством лопастей  $Z \approx 0,2-3$ , к примеру, у ВЭУ с 3-мя лопастями и большей скоростью вращения  $Z \approx 6-10$ .

Другой важной характеристикой является мощность ВЭУ, в которой одним из главных параметров является коэффициент использования энергии ветра ( $C_p$ ), определяющий среднюю выработку электроэнергии на конкретной турбине. Коэффициент использования энергии ветра зависит от конструкции ветряка.

$$P = C_p \frac{\rho v^2}{2} \frac{\pi D^2}{4} \eta_{эл} \eta_{мех}, [\text{Вт}].$$

Из классической теории идеального ветроколеса известно, что максимальный коэффициент использования энергии ветра идеального ветроколеса равен 59,3 %.

При небольших средних скоростях ветра тихоходные ВЭУ более предпочтительны, так как благодаря большому количеству лопастей у тихоходного ветродвигателя возникает большой вращающий момент при малых скоростях ветра. У быстроходных ветродвигателей, наоборот, вращающий момент меньше (при малых скоростях ветра), следовательно, их целесообразнее применять в местах с большими скоростями ветра. Тихоходные ВЭУ начинают работать при скорости ветра 3-5 м/с, достигая значительного эффекта при 6-10 м/с, но при этом качество вырабатываемой электроэнергии низкое из-за неустойчивости по частоте и амплитуде напряжения.

На рис. 2 представлен график эффективности ветроустановок в зависимости от их конструкции.

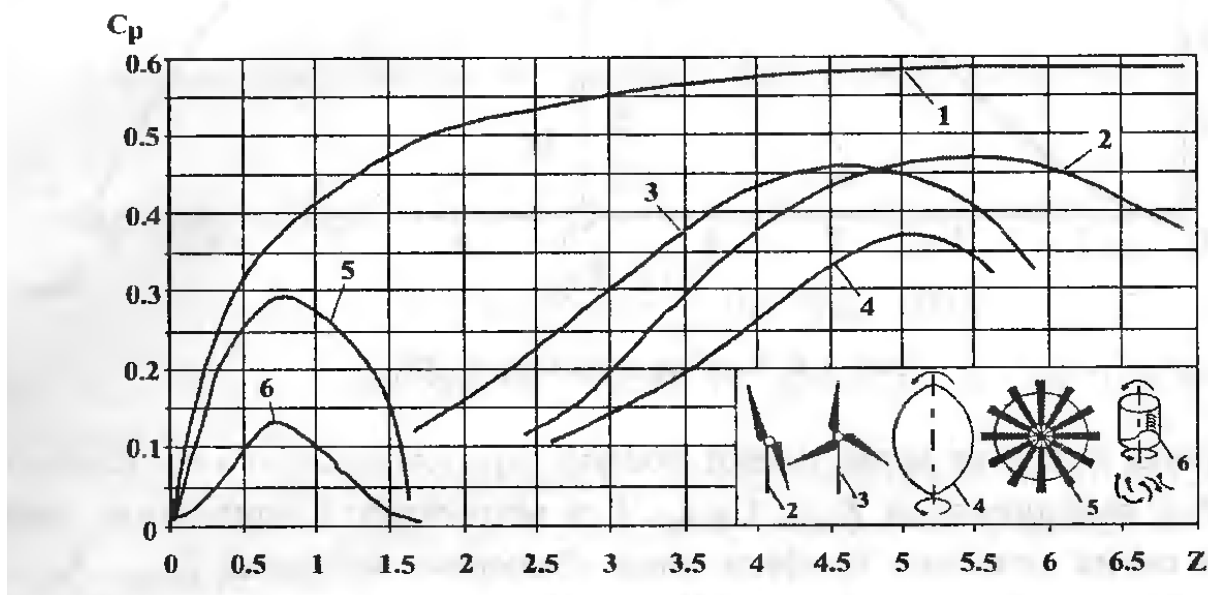


Рис. 2. Эффективность различных конструкций ветроустановок

1 — идеальная эффективность турбины пропеллерного типа; 2 — высокоскоростная двухлопастная турбина «Пропеллер»; 3 — трехлопастный «Пропеллер»; 4 — вертикально-осевая турбина типа «Дарье»; 5 — многолопастной ветронасос; 6 — роотор Савониуса.

Несмотря на то, что коэффициент использования энергии ветра выше у быстрходных ВЭУ, диапазон использования скоростей ветра у тихоходных ветроустановок шире, поэтому их целесообразно использовать в большинстве регионов нашей страны (при среднегодовой скорости ветра от 2 до 6 м/с). Таким образом, для России актуальной задачей является разработка тихоходной ВЭУ с максимально широким диапазоном использования скоростей ветра.

#### Библиографический список

1. Пуркин Д.А., Шестак А.Н. Основы ветроэнергетики. Екатеринбург: Уралюриздат, 2005. 103 с.

## ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОРФЯНЫХ РЕСУРСОВ

Головских Д.С., Козлова М.В., Журавлёв А.В., Горбунов А.В.  
Уральский государственный горный университет, IEF@ursmu.ru

Исходя из положений о целесообразности комплексного использования природных ресурсов, следует от прямого сжигания торфяного сырья перейти к энергетическому использованию топливных продуктов, его комплексной переработке при полном и рациональном использовании всех извлекаемых из торфа компонентов или продуктов. Такое энерготехнологическое использование торфа (как и других видов топлива) со временем должно привести к формированию новой отрасли — к комплексной переработке топлива.

Расчеты, выполненные по результатам экспериментов, показали, что из 1 т торфа 40%-ной влажности путём ВСП (высоко скоростной пиролиз) можно получить до 190 м<sup>3</sup> стандартного газа и около 20 кг жидкой смолы, а при сжигании коксового остатка торфа в топке котла для энергетических целей — около 500 кВт ч электроэнергии. Изменяя температуру и другие условия термической пе-

переработки, можно в широких пределах регулировать выход газа, электроэнергии и жидких продуктов. Поэтому при комплексном использовании органической массы торфа его уже нельзя рассматривать традиционно, т. е. как низкокачественное топливо.

Продукты термической переработки торфа:

1. Твердые (кокс (29,82...34,02 МДж/кг); полукокс (25,2...29,4 МДж/кг) отличаются высокой реакционной способностью и незначительным содержанием серы и фосфора).

2. Жидкие (смола – сложная смесь химических соединений 36,12...36,96 МДж/кг; подсмольная вода – побочный продукт пиролиза).

3. Газообразные (газ 4,62...23,1 МДж/м<sup>3</sup>, состоит из CO<sub>2</sub>, CO, C<sub>n</sub>H<sub>n</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, чем ниже теплота сгорания, тем больше его разбавленность N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>).

Исследованиями Московского филиала ВНИИТП была обоснована эффективность получения искусственного газа в реакторах аэрофонтанного типа с внутренним обогревом твердым теплоносителем (схема ЭНИНа). Удельные приведенные затраты на производство газа по этой схеме и схеме ЭНИНа в условиях Вологодской области примерно на 80 % меньше, чем удельные приведенные затраты на природный газ, поставляемый из тюменских месторождений. Учитывая это экономическое преимущество и значительность местных ресурсов торфа, ученые обосновали вывод о возможности и целесообразности в районах удаленных мест добычи природного газа, развития крупномасштабного производства продуктов термического разложения торфа.

В перспективе удельные затраты на производство искусственного газа могут снизиться в результате совершенствования технологий, в то время как удельные затраты на доставку природного газа возрастут, вследствие перемещения основных центров добычи в труднодоступные северные районы Западной Сибири.

На структуру топливно-энергетического баланса может повлиять использование не только газа термического разложения торфа в промышленных или бытовых энергоустановках, но и другого его продукта – полукокса или кокса – в металлургических процессах.

Для этого в некоторых районах страны имеются благоприятные условия: торфяные месторождения размещены сравнительно близко от металлургических заводов (на Северо-Западе и Урале) или от месторождений железных руд (на Кольском полуострове, в Западной Сибири). В указанных районах нередко встречаются запасы торфа верхового типа с зольностью не выше 3÷4,5 %, пригодного для производства кокса и полукокса.

Энерготехнология, разработанная в ЭНИН, представляет собой способ эффективной переработки и комплексного использования топлив на электро-технологических комбинатах (ЭТК). На таких энергопромышленных комплексах в результате пиролиза топлива в качестве товарной продукции можно получить электроэнергию, жидкое топливо, газ, брикеты, удобрения, строительные материалы и др.

Теплота сгорания полученного газа составила 19,27...21,79 МДж/м<sup>3</sup>, в нем содержится от 7 до 9 % непредельных углеводородов (этилена, пропилена и бутилена).

В соответствии с указанным изменением выхода газа выход торфяной смолы изменялся от 12 до 2,5 % при теплоте сгорания 36,27...36,66 МДж/кг. Кроме того, был получен значительный выход ценного газового бензина, содержащего 70 % бензола и толуола. Газовый бензин, используемый в качестве моторного топлива, облегчает запуск двигателей.

Бензин, полученный прямой перегонкой торфяной смолы, после очистки имел октановое число 80. Общий выход бензиновой фракции, составляющей 3÷4 % в расчете на сухой торф, может быть увеличен высокоскоростным пиролизом тяжелой части смолы.

Анализ результатов этого и других исследований показал, что при энерготехнологическом использовании торфа на электростанциях, работающих по паровому циклу, уменьшаются размеры и стоимость котлоагрегатов, обеспечивается устойчивость их работы независимо от колебаний влажности торфа, а также значительно улучшаются санитарно-гигиенические условия работы персонала станции и сокращаются выбросы золы в атмосферу.

Экономическая эффективность применения торфяного кокса по сравнению с каменноугольным была подтверждена предпроектными расчетами по его производству на заводе, выпускающем 600 тыс. т кокса в год, и использованием на Череповецком металлургическом заводе (ЧМЗ).

Исследования на ЧМЗ показали, что производительность агломерационных машин при использовании в качестве топлива торфяного кокса возрастает примерно на 5-10 %. Гипроторфом еще в 1970 г. была экономически обоснована целесообразность использования торфяного полукокса, полученного по схеме ЭНИНа, в качестве топливного реагента при вдувании в доменные печи, а кокса, полученного по схеме ВНИИТП, – в качестве топлива при агломерации железных руд.

С учетом результатов исследований, показавших перспективность энерготехнологического использования торфа, а также особенностей современного этапа развития торфяной отрасли промышленности, в настоящее время представляется целесообразным построить крупные опытно-промышленные установки в районах размещения добычи топливного торфа и его промышленных потребителей.

## **КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ БИОМАССЫ И ВЕТРА**

*Горбунова А.А., Нараева Р.Р.  
Южно-Уральский государственный университет  
Fukatsumu@mail.ru*

Животноводческие комплексы и птицеводческие предприятия в настоящее время сталкиваются с серьезными проблемами утилизации органических отходов, связанных с разведением и забоем животных. Например, одна курица

производит около 0,6 кг помета в сутки, свинья – 12 кг навоза, а корова – 60 кг. Среднего размера ферма крупного рогатого скота (4500 голов) дает около 175 тыс. т навозных стоков в год. От одной птицефабрики средней мощности (40 тыс. кур-несушек или 10 млн цыплят бройлеров) ежегодно поступает соответственно от 35 до 83 тыс. т пометной массы и свыше 400 тыс. м<sup>3</sup> сточных вод с повышенной концентрацией органических компонентов. Это обстоятельство является обратной стороной всей агрокультуры, является ежедневной работой руководителей и специалистов животноводческих предприятий, местных администраций, экологов, населения и всех, кто работает или проживает вблизи ферм и птицефабрик. Большинство предприятий продолжают помещать навозные стоки в накопители, где они разделяются на жидкую и твердую части, а затем вывозятся в качестве удобрений на поля. Другие – отправляют отходы на ближайшие городские очистные сооружения, если они имеются. Или же просто складироваться на полях, делая их непригодными для посевов. Отдельно стоит проблема утилизации туш павших животных, число которых иногда достигает до 8–9 % от поголовья животноводческого предприятия.

Требования к переработке и утилизации отходов животноводческих предприятий изложены в Нормах технологического проектирования НТП-17-99. Нормы эти достаточно строгие и не всегда практически реализуемые. Так, НТП-17-99 определяют срок выдержки навоза в лагуне не менее 6 месяцев. Фермы КРС численностью 4500 голов, дающие 175 тыс. куб. м жидких навозных стоков, должны иметь для хранения и утилизации этих стоков не менее 7 лагун емкостью 12 тыс. м<sup>3</sup>, заполняемых поочередно, общей площадью около 20 тыс. м<sup>2</sup>. После того как заполнится седьмая лагуна, пройдет 6 месяцев хранения стоков в первой лагуне и возникнет необходимость ее опорожнения. Те же НТП-17-99 предписывают, что на одно поле жижа из лагун может вывозиться не чаще, чем 1 раз в 4 года, иначе возникает риск засоления почвы соединениями азота. Кроме того, вылитая на поля жижа, во избежание заражения воздуха, не позднее чем через 2 часа должна быть обработана дисковым культиватором. Для опорожнения одной лагуны цистерной 11 м<sup>3</sup> потребуется 1091 рейс и 409 рабочих дней, если работать одновременно четырьмя цистернами, то потребуется не менее 3,5 месяцев. Заполнение одной лагуны стоками происходит за 3 месяца, затраты только на вывозку переработанных стоков из лагун на поля и зарывание их в землю составят около 1 млн руб. ежегодно. Стоит добавить, что в любом случае владельцу предприятия для соответствия указанным нормам необходимо построить бетонные резервуары, содержать на балансе мощный штат грузовой техники и рабочих (либо привлекать транспортные компании). Кроме того, площади, необходимые для бетонных резервуаров-лагун, по сути, выводятся из сельскохозяйственного обращения.

Хорошим способом утилизации отходов птицефабрик является использование биогазовых установок, в которых помимо утилизации навоза происходит выработка экологически чистого биогаза. К тому же процессы брожения в метантенках происходят намного быстрее: от 7 до 30 суток, в зависимости от окружающей температуры. Это приводит к годовому неравномерному производству биогаза. Минимум приходится на зимний период. На Южном Урале сред-

ная скорость ветра наибольшая именно в зимние месяцы. В этом случае целесообразно было бы соединить два этих вида энергетических ресурса. При уменьшении скорости ветра до уровня, когда энергия перестает вырабатываться или уровень энергии не соответствует требованиям потребителя, к сети подключается дизель-генератор, работающий на биогазе. Таким образом, потребитель, в нашем случае это птицефабрика, снабжается постоянной электрической энергией. Также в летний период – период сельскохозяйственных работ, станция производит удобрения.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАКУУМНОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Данилов В.Ю., Филипенко А.А., Велькин В.И.  
УрФУ, v.i.velkin@ustu.ru

Экспериментальная установка для исследований вакуумного коллектора в условиях зимних температур была смонтирована на полигоне ВИЭ УрФУ. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

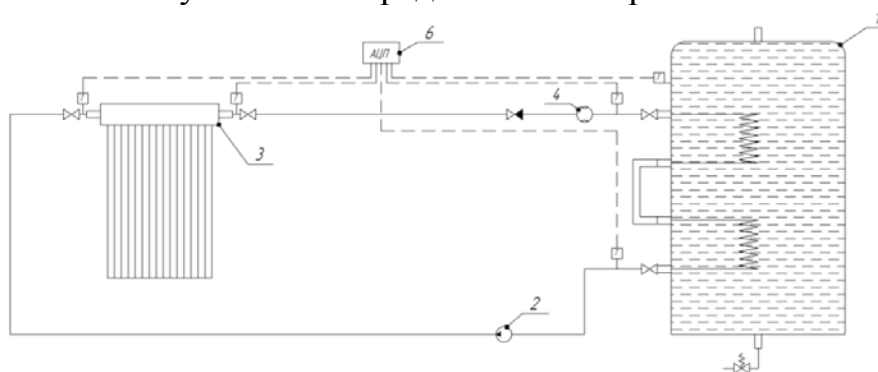


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

1 – двухконтурный бак-аккумулятор объемом 250 литров; 2 – циркуляционный насос Wilo 48 Вт с тремя регулировками мощности; 3 – вакуумный солнечный коллектор Ariston Kairos VT-15; 4 – расходомер; 6 – аналого-цифровой преобразователь

Функция солнечного коллектора заключается в постоянном нагреве теплоносителя (смесь воды с этиленгликолем), циркулирующего внутри трубок коллектора. Внутри каждой трубки располагается поглотитель с селективным покрытием, на котором солнечное излучение преобразуется в тепловую энергию. Поглотитель конструктивно соединен с каналами для прохождения теплоносителя. Таким образом, рабочее тело воспринимает тепло от поглотителя и поднимается вверх, где циркулирует дальше по контуру, отдавая свое тепло в баке аккумулятора.

Опыты производились в течение недели в середине марта 2012 г. как в солнечную погоду, так в облачную и пасмурную. Основным режимом был нагрев воды в баке-аккумуляторе. Исследования производились в дневное время, и их результаты представлены на графических зависимостях ниже.

Цветные графики на рис. 2 иллюстрируют поведение системы при запуске из холодного состояния и позволяют оценить время переходного процесса до выхода на режим (около 10 минут). Зависимость является типовой для запуска в период отрицательных температур и позволяет оценить, какое количество тепловой энергии из аккумулированной баком теряется при запуске (в эксперименте бак остыл на 3 градуса).

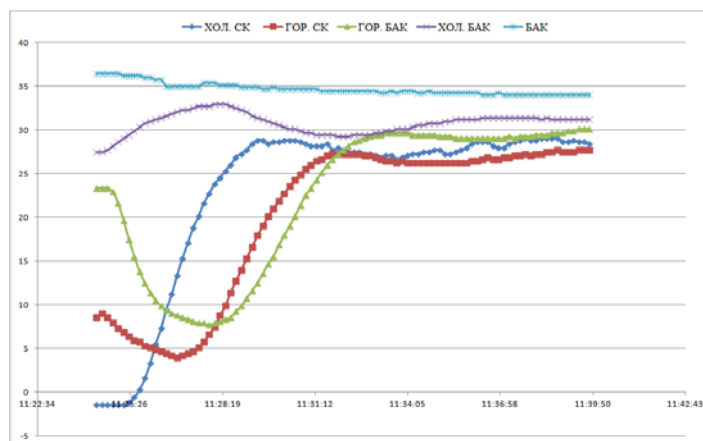


Рис. 2. Температурные характеристики системы при пуске (начальная температура бака 36 °C, наружного воздуха (-3 °C); расход – 3 л/мин)  
ХОЛ. СК – температура на входе в СК; ГОР. СК – температура на выходе из СК; ГОР. БАК – температура горячей воды на входе в бак; ХОЛ. БАК – температура воды на выходе из бака перед насосом; БАК – температура в верхней точке бака

Представленные зависимости (рис. 3, 4) иллюстрируют работу системы в режиме нагрева бака-аккумулятора, позволяющего накапливать тепловую энергию в солнечные периоды и поддерживать температуру в пасмурные.

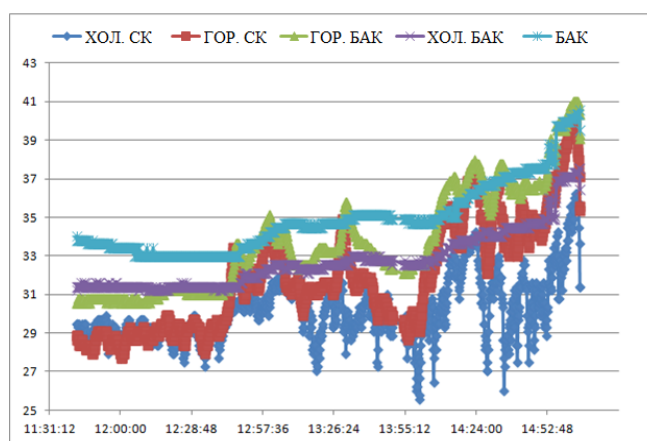


Рис. 3. Температурные зависимости в облачную погоду с прояснениями при относительно большом расходе в 3 л/мин

Для пасмурной погоды, когда солнечный коллектор не в состоянии обеспечить требуемую температуру, целесообразно «отключать» контур солнечного коллектора и пускать по нему рециркуляцию с целью увеличения температуры до необходимой (рис. 5). Такой режим позволяет, с одной стороны, сохранить тепло бака, с другой, даже при наличии малой освещенности, получать тепловую энергию необходимой температуры.

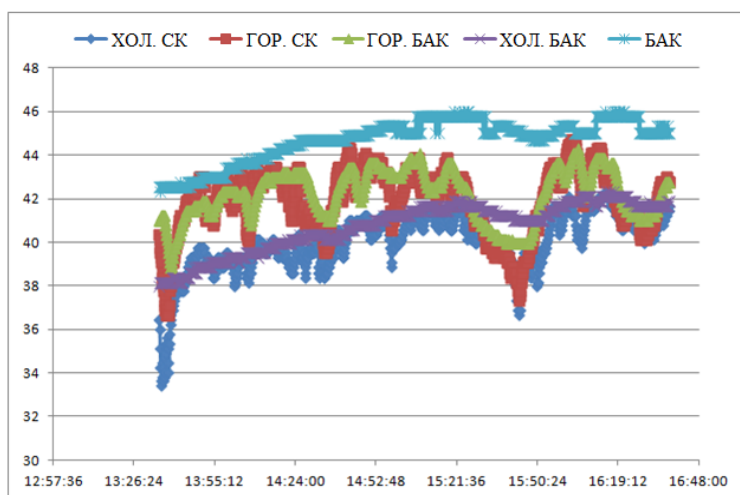


Рис. 4. Температурные характеристики системы в пасмурную погоду при расходе в 3 л/мин

Важной мерой поддержания заданной температуры является регулирование расхода. Уменьшение расхода с 3 л/мин до 1 л/мин позволило достичь более высоких значений разностей температур на коллекторе.

Как видно из графика (рис. 5), в течение дня происходит нагрев бака от 30 до 50 градусов. Достижение подобных относительно высоких температур обусловлено снижением расхода теплоносителя до 0,6 л/мин.

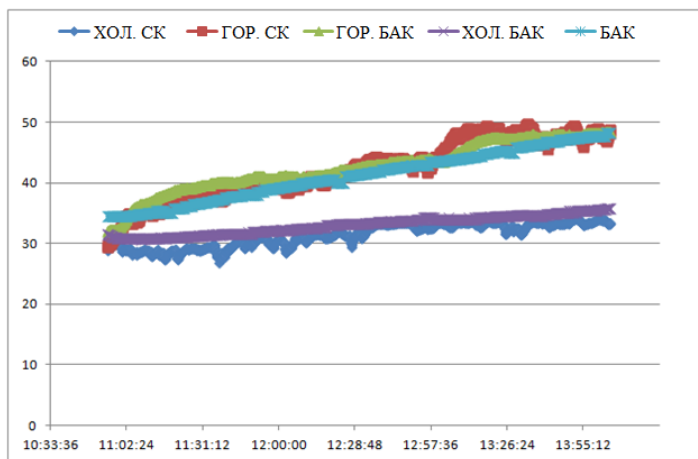


Рис. 5. График температур в режиме нагрева бака в ясную погоду и при температуре окружающего воздуха в пределах (-5...-2 °C), расход 0,6 л/мин

Рост мощности обусловлен увеличением мощности солнечной радиации и прогревом системы. Тепловые потери в системе

определялись, в основном, разностью температур между окружающей средой и выходом с коллектора.

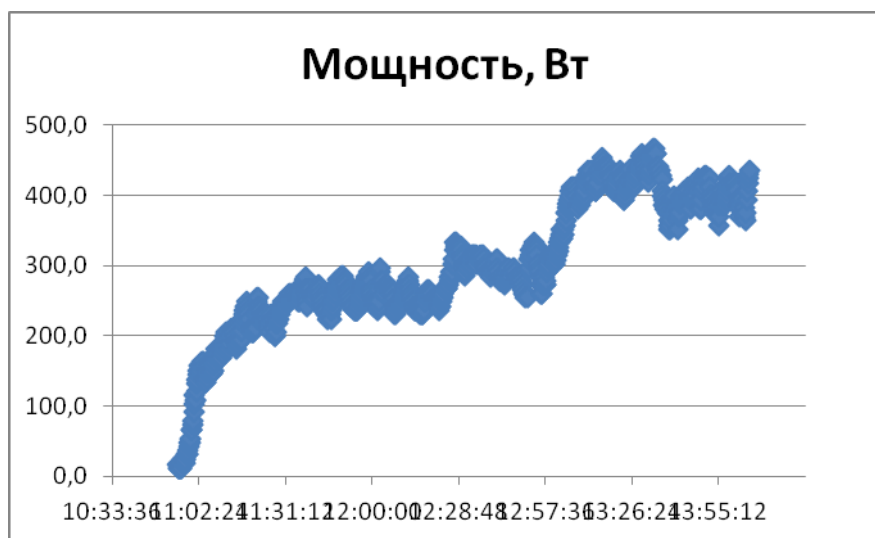


Рис. 6. График изменения мощности в течение дня в режиме нагрева бака в ясную погоду и при температуре окружающего воздуха в пределах (-5...-2 °C), расход – 0,6 л/мин

КПД системы (рис. 6) также возрастает по мере увеличения мощности солнечной радиации к полудню, что обусловлено конст-

руктивными особенностями вакуумной трубки данного коллектора: лучи перпендикулярны поверхности абсорбера в полдень и, таким образом, достигается наибольшая эффективность.



При отрицательных температурах осуществлен нагрев бака-аккумулятора с 35 до 50 градусов в течение солнечного дня, что составило 15 МДж тепловой энергии. Потери в трубопроводах составляли 1-3 градуса. КПД системы достигал значений в 67 %.

Подобные системы могут быть использованы в регионах с высокими значениями ГСОП, так как конструкция коллектора с вакуумными трубками препятствует потерям тепла в результате конвекции.

Таким образом, используя вакуумный солнечный коллектор, при наличии качественной теплоизоляции трубопроводов, возможно эффективное преобразование солнечной энергии в зимнее время в условиях Уральского региона с уровнем ГСОП, равным 6000, и подача тепла на ГВС и отопление.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ГВС И ОТОПЛЕНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО ДОМА В ЕКАТЕРИНБУРГЕ

*Данилов В.Ю., Филипенко А.А., Велькин В.И.  
УрФУ, v.i.velkin@ustu.ru*

Практическое использование солнечной энергии в России находит в настоящее время наибольшее применение в Краснодарском крае [1], имеющем невысокий показатель ГСОП (градусо-суток отопительного периода), равный 3500. Свердловская область имеет гораздо более суровый климат (значение ГСОП около 6000) и, соответственно, высокий риск применения солнечных коллекторов [2].

В апреле 2012 г. на основе расчетов и экспериментальных данных разработана схема и начался монтаж вакуумных солнечных коллекторов на 10-этажном многоквартирном доме в Екатеринбурге [3]. Схема системы вакуумных СК представлена на рис. 1.

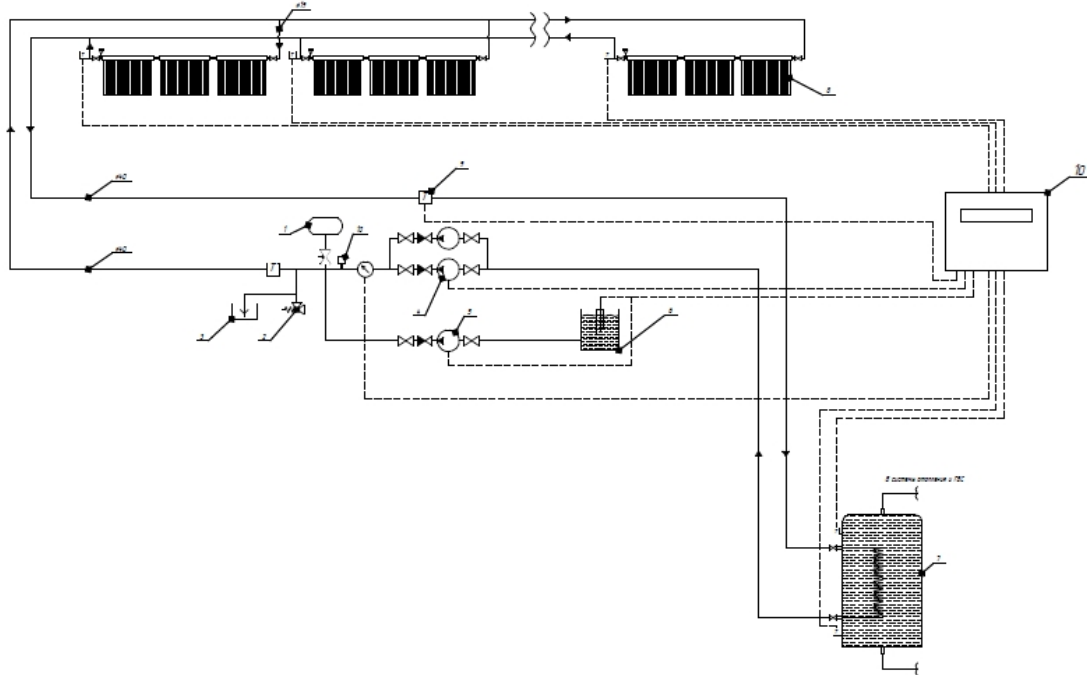


Рис. 1. Схема системы солнечного теплоснабжения многоквартирного жилого дома в мегаполисе (г. Екатеринбург, Родонитовая, 8)

Выбор типа установки определяется с учетом климатических условий. В условиях умеренных широт и холодного климата (при любой солнечной радиации) плоские коллекторы будут нести значительные тепловые потери, обусловленные прежде всего конвекцией, что делает их применение нецелесообразным. С другой стороны, слой вакуума в трубчатом коллекторе позволяет сохранить полученную тепловую энергию.

С технологической точки зрения процесс изготовления вакуумных коллекторов (особенно с тепловыми трубками) является более сложным и, соответственно, более дорогим, по отношению к плоским системам.

Системы с плоскими коллекторами широко применяются в странах с большими значениями дневных сумм солнечной радиации, а также в Краснодарской крае России, поскольку, с одной стороны, обеспечивают потребности в горячей воде (чаще всего – индивидуальных домохозяйств), а, с другой, – являются наиболее эффективным вложением средств, поскольку имеют относительно малую стоимость. Для решения задач не только обеспечения горячего водоснабжения, но и отопления, необходимо иметь высокие температуры и возможность работать в зимних условиях, а также в облачную погоду.

В большей степени удовлетворяющим этим требованиям решением является система вакуумных коллекторов с тепловыми трубками. Теплопередача от тепловых трубок является более эффективной и позволяет установке работать в широком диапазоне погодных условий [4].

Таким образом, с учетом достоинств и недостатков обеих систем, для проекта использования солнечной энергии на многоквартирном доме в качестве основных элементов гелиосистемы были выбраны вакуумные солнечные коллекторы с тепловыми трубками.

На рис. 2 представлено сравнение мощности потока солнечной радиации для 4-х значений углов.

$I_H, \text{Вт/м}^2$

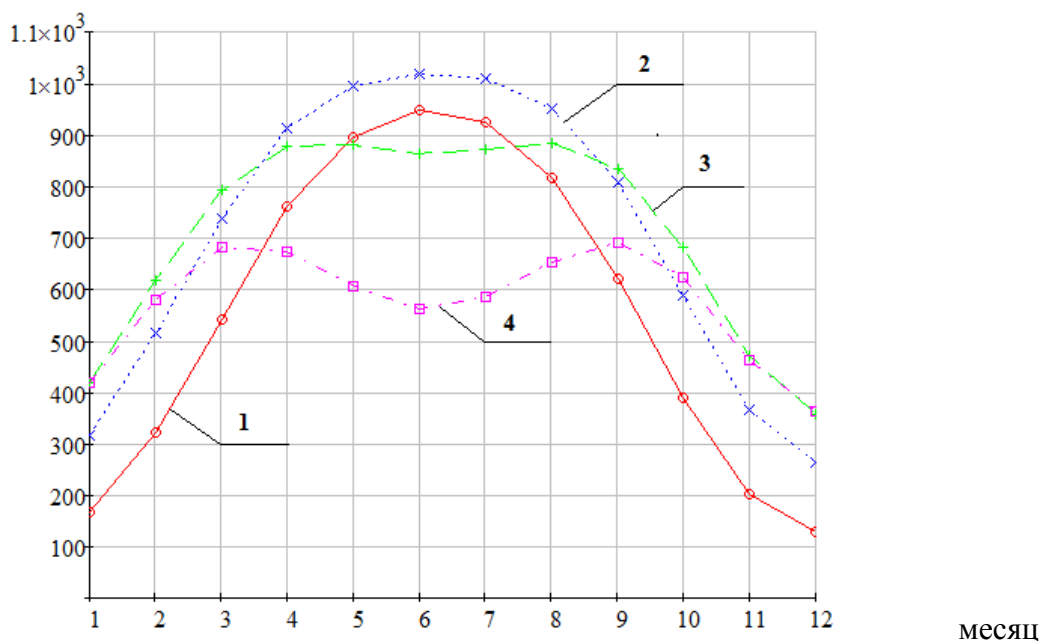


Рис. 2. Расчетная зависимость мощности потока солнечной радиации от месяца для углов наклона СК 1 – 10°; 2 - 45°; 3 - 65°; 4 - 90°

Для гелиосистем, основной задачей которых служит отопление, наиболее целесообразными являются «зимние» углы (от 60 до 70). Например, для угла 65° для января наблюдается мощность порядка 400 Вт/м<sup>2</sup>, тогда как в аналогичное время для угла в 10 градусов  $I_H = 180$  Вт/м<sup>2</sup>. Дальнейшее увеличение угла нецелесообразно, так как при угле в 90°  $I_H = 415$  Вт/м<sup>2</sup> для января, но в летний период существует значительный недобор энергии, поскольку солнечное излучение попадает на вертикальную поверхность лишь частично.

Таким образом, для нужд отопления и ГВС многоквартирного жилого дома в условиях Уральского федерального округа был принят угол, равный 65°.

Монтаж вакуумных СК на многоквартирном доме в мегаполисе представлен на рис. 3.



Рис. 3. Монтаж вакуумных солнечных коллекторов на многоквартирном 10-ти этажном доме в Екатеринбурге (июнь 2012 г., студенты кафедры АС и ВИЭ УрФУ на практическом занятии по монтажу. Руководитель – доц. В.И. Велькин)

#### *Библиографический список*

1. Бутузов В.В., Брянцева Е.В., Гнатюк И.С. Гелиоустановки Краснодарского края // Промышленная энергетика. 2011. № 7. С. 45-47.
2. Данилов В.С., Коржавин С., Щеклеин С.Е., Велькин В.И. Экспериментальное исследование эффективности комбинированной системы солнечной теплогенерации // Альтернативная энергетика и экология. 2012. № 3. С. 77-81.
3. Дом на солнечном отоплении «Родонитовая 8»: Сюжет ТВ «Вести-Урал», апрель 2012.
4. Бутузов В.А. Повышение эффективности систем теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии // Дис. ... докт. техн. наук. М., ВИЭСХ, 2004. 297 с.

### **К ВОПРОСУ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕЛИОУСТАНОВОК И ТЕПЛООВОГО НАСОСА В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА**

*Доскенов А.Х.*

*Челябинская государственная агроинженерная академия*

*arsen\_doskenov@mail.ru*

Зарубежный опыт свидетельствует об ускоренном развитии технологий возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Общий объем производства электроэнергии за счет ВИЭ до 2030 года прогнозируется увеличить в 2 раза, а тепловой энергии — более чем в 10 раз.

Рост внутреннего спроса России на первичные энергоресурсы и увеличение их экспорта формируют необходимость вовлечения в топливно-энергетические балансы регионов страны возобновляемых источников энергии (около 7 % к 2030 году). В настоящее время в РФ формируется нормативно-правовая база, стимулирующая внедрение ВИЭ.

Источники электрической и тепловой энергии на основе ВИЭ отличаются высокой науко- и капиталоемкостью. Однако, за счет отсутствия в них топливной составляющей, они становятся конкурентоспособными по сравнению с традиционными энергоисточниками [1].

Челябинская область является энергодефицитным регионом, получающим 100 % природного газа за счет внешних поставок и 39,5 % электроэнергии с оптового рынка электроэнергии (ФОРЭМ). Ограниченные топливные ресурсы ставят энергетику области в зависимость от поставщиков. И хотя дефицит производства электроэнергии не прогнозируется, руководством области принята программа использования альтернативных источников, местного топлива, повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. В общем балансе потребления энергоресурсов на долю альтернативных источников приходится лишь 2 % [2].

В настоящее время уже ведутся исследования по внедрению ВИЭ в Челябинской области [3]. В частности были проведены исследования применения солнечной энергии в целях теплоснабжения с помощью гелиоустановок.

Климат Южного Урала резкоконтинентальный: холодная зима, жаркое лето. На формирование климата существенно влияют Уральские горы – препятствие на пути движения воздушных масс. Средняя температура января составляет (-15...-18) °С, с июля – (+16...+27) °С. Годовая амплитуда может достигать 50-70 °С [4]. Поэтому использование гелиоустановок в качестве источника теплоснабжения вызывает некоторые сложности. Так, для полного покрытия необходимой тепловой мощности в холодный период года требуется определенное количество солнечных коллекторов, от которых в теплое время можно ожидать избыток тепловой энергии.

В случае уменьшения мощности гелиоустановок, получаемая в холодный период года тепловая энергия будет недостаточной в системе теплоснабжения. Возможным выходом из данной ситуации является использование термотрансформаторов совместно с гелиоустановками.

Устройства, предназначенные для передачи теплоты из низшего температурного уровня на высший, называются термотрансформаторами, к ним относятся и тепловые насосы. Тепловой насос – термодинамическая установка, в которой теплота от низкопотенциального источника передается потребителю при более высокой температуре. При этом затрачивается механическая энергия.

В системе теплоснабжения широкое применение находят ТНУ парокомпрессионного типа. Они наиболее освоены и надежны в эксплуатации. Рабочим агентом служат жидкости, испаряющие при низкой температуре, в частности фреоны. Цикл теплового насоса в принципе не отличается от цикла холодильных машин [5].

Вопрос совместного использования гелиоустановок с тепловыми насосами требует внимательного изучения. В частности, необходимо решить следующие задачи:

- формирование научно-теоретической базы,
- определение оптимального соотношения мощностей гелио- и теплонасосных установок,
- обоснование оптимальной схемы совместной работы данных установок,
- определение технической и экономической эффективности их совместного использования.

При исследовании важную роль играет математическое моделирование совместной работы этих установок с целью определения оптимальных параметров создания, поскольку проведение натурного эксперимента требует значительных капитальных вложений.

В перспективе, решение указанных задач позволит определить эффективность таких систем, упростить технические расчеты и ускорить их внедрение.

#### *Библиографический список*

1. <http://www.promgaz.su/nauka-vovlechenie-vozobnovlyaemyh-istochnikov.html>
2. <http://www.energsovet.ru/stat302p5.html>
3. Саплин Л.А., Шерьязов С.К., Пташкина-Гирина О.С., Ильин Ю.П. Энергоснабжение сельскохозяйственных потребителей с использованием ВИЭ: учебное пособие для вузов. Челябинск: ЧГАУ, 2000. 203 с.
4. <http://uralbank.info/ural/geografuzh.php>
5. Курылев Е.С., Герасимов Н.А. Холодильные установки: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Холодильные и компрессионные машины и установки". 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1980. 622 с.

## **РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ДЛЯ УСТАНОВОК ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

*Загафуранова Ю.М., Немихин Ю.Е., Щеклеин С.Е., УрФУ  
Невьянцев С.В., National Instruments Russia  
e-mail: Zagarulya13@mail.ru*

Для изучения установок возобновляемой энергетики при их комплексном применении в ряде случаев необходим одновременный анализ их работы. С этой целью в УрФУ создается система распределенного мониторинга процессов, протекающих в установках возобновляемой энергетики. Основные задачи:

1. Создание лаборатории мониторинга.
2. Организация дистанционного образования студентов по данным, получаемым с объектов (интернет-связь).
3. Подключение к процессу исследований и совместных работ других вузов

В настоящий момент выполнен подбор оборудования для каждой установки, определены количество и параметры датчиков и приборов, параметры приборов должны подходить под установки, определяется их месторасположе-

ние в системе, а также подбор параметров компьютерной программы. Для обеспечения работы системы выбран аппаратно-программный комплекс на базе платформы Compact Rio производства корпорации National Instruments. На рис. 1 представлена схема построения системы.

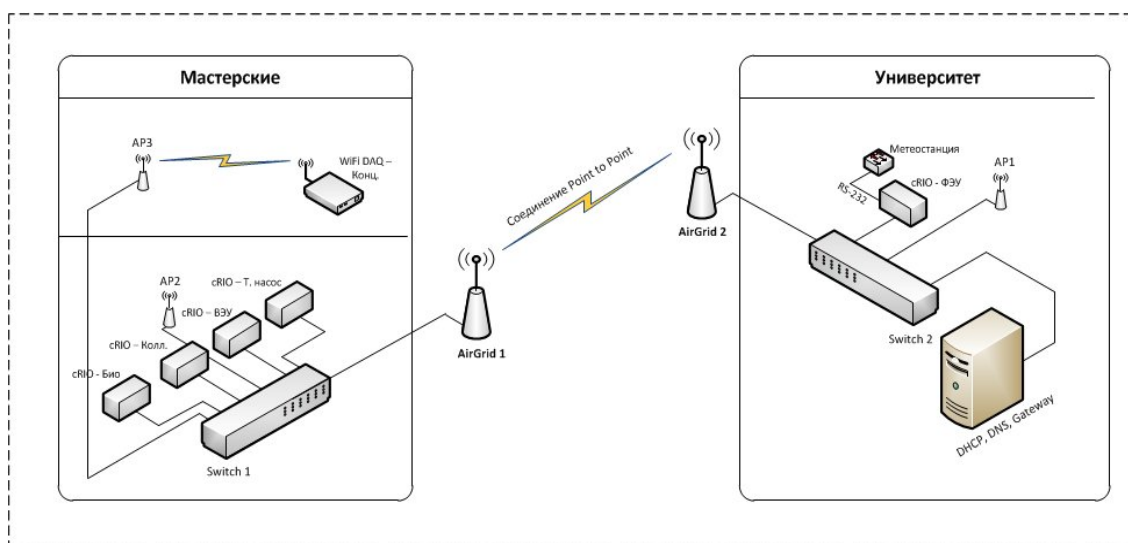


Рис. 1. Схема построения системы

Элементы системы: Метеостанция Vantage Pro 2. Информация с этой метеостанции будет применяться для анализа метеоусловий при работе других агрегатов распределённой системы.

Система солнечного электроснабжения, 3 датчика на «выходе» с фотоэлектрических панелей или на входе в контроллер (ток, напряжение), 1 датчик на выходе из контроллера или на входе АКБ (ток, напряжение), 1 датчик на выходе с АКБ (ток, напряжение), анализатор качества электроэнергии на выходе с инвертора (ток, частота, напряжение). Система применяется для питания светодиодных осветительных приборов.

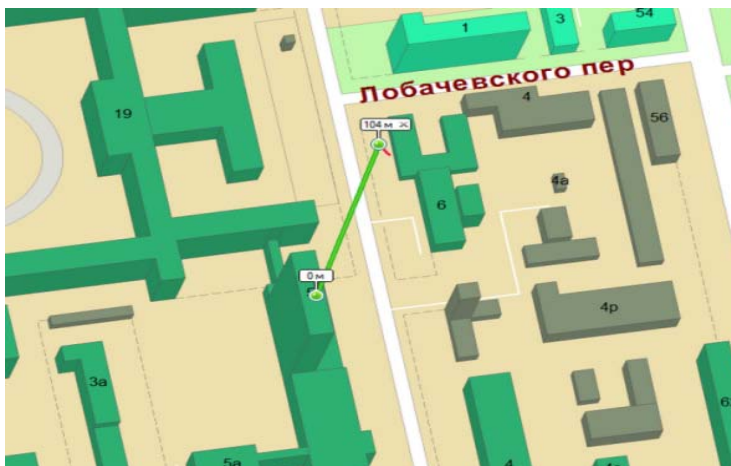
Ветроэлектрическая установка (ВЭУ) 3 кВт, 3 датчика на «выходе» генератора установки, 1 датчик на выходе с анемометра 1 датчик на выходе из контроллера или на входе АКБ (ток, напряжение), 1 датчик на выходе с АКБ (ток, напряжение), анализатор качества электроэнергии на выходе с инвертора (ток, частота, напряжение). ВЭУ будет применяться для питания электросветильников (на базе светодиодов) и для других целей.

Солнечный коллектор (Ariston). 10 датчиков температуры RTD, 2 расходомера. Нагретая вода поступает в контур горячего водоснабжения.

Солнечный концентратор (разработка кафедры АСиВИЭ). 4 датчика температуры, 2 расходомера.

Возможна установка системы ориентации на солнце. Нагретый высокотемпературный теплоноситель используется для проведения экспериментальных исследований.





Размещение установок на территории УрФУ показано на рис. 2.

Рис. 2. Размещение установок на территории УрФУ

Измеряемые параметры собираются и выводятся на дисплей компьютера, с помощью программы, написанной в среде LabView.

Также в данной программе возможно построение различных графиков (суточных, месячных, годовых и т.д.), что позволит следить за режимами работы установок дистанционно через интернет в режиме онлайн. На рис. 3 показана форма отображения результатов.

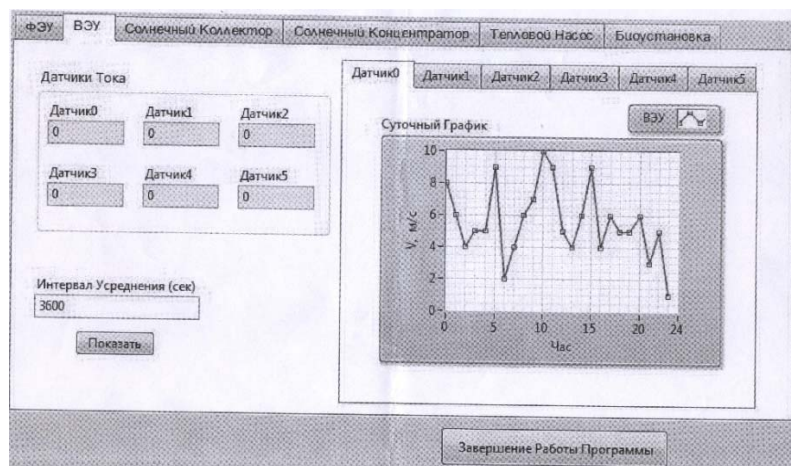


Рис. 3. Форма отображения результатов

Разработанная система позволит выполнять лабораторные и исследовательские работы, в том числе и с удаленным доступом по таким дисциплинам как: «Специальные вопросы проектирования электростанций и

комплексов на базе НиВИЭ» (магистерская программа), «Основное и вспомогательное оборудование НиВИЭ» (программа специалитета), «Энергетические сооружения установок НиВИЭ» (программа специалитета).

## БЕСПЛОТИННАЯ МИКРО-МИНИГЭС

*Зайков И.А., Щеклеин С.Е., Попов А.И.  
УрФУ, zaikov\_ivan.ice@mail.ru*

Гидравлическая энергия большинства малых рек, ручьев, водовыпусков из прудов и водохранилищ на равнинной территории страны не используется. Строительство плотин ввиду их высокой стоимости не всегда целесообразно.

В последние годы возросла потребность в автономном обеспечении электрической энергией фермеров, малых предприятий, геологических партий и т.п., расположенных на значительном расстоянии от централизованных сетей электроснабжения.

Настоящее техническое решение относится к преобразователям гидравлической энергии, расположенным вдоль потока и отбирающим его энергию на расстоянии, определенном длиной преобразователя.

В известных устройствах аналогичного назначения, устанавливаемых вдоль потока для преобразования гидравлической энергии быстотоков каналов, рек и ручьев [1-4], поток входит внутрь полуцилиндров или их частей и выходит по образующей в щели по касательной к окружности, создавая реактивный момент вращения.

Недостатком данных устройств является низкий коэффициент полезного действия и небольшая вырабатываемая удельная мощность, ввиду неполного использования энергии скоростного напора водного потока. Это обусловлено тем, что основная часть потока проходит не внутрь полуцилиндров, а обтекает гидротурбинки, не создавая вращательного движения.

В известных шнековых преобразователях энергии потока воды [5] шнек расположен в трубе наклонно и может вращаться только при значительном перепаде высот. Такая конструкция больше подходит для плотинных или деривационных вариантов ГЭС.

В подобных конструкциях поток, взаимодействуя со шнековой поверхностью на всем ее протяжении, обеспечивает большее давление потока и большую удельную вырабатываемую мощность. Однако недостатком данных устройств является также невысокий КПД, поскольку не используется реактивная составляющая энергии и не полностью используется вращающийся момент от давления.

На кафедре «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» разработана более эффективная «Бесплотинная шнековая гидроэлектростанция», авторы: Попов А.И., Щеклеин С.Е. В данной конструкции использованы два или более шнеков, расположенных под углом друг к другу поперек потока воды с использованием угловых редукторов и лопастей разных диаметров [6].

Однако данная конструкция работоспособна при размещении ее поперек потока или на ограниченном по ширине участке протяженного участка потока. Но на практике часто возникает задача обеспечить съем гидравлической энергии именно в данных условиях.

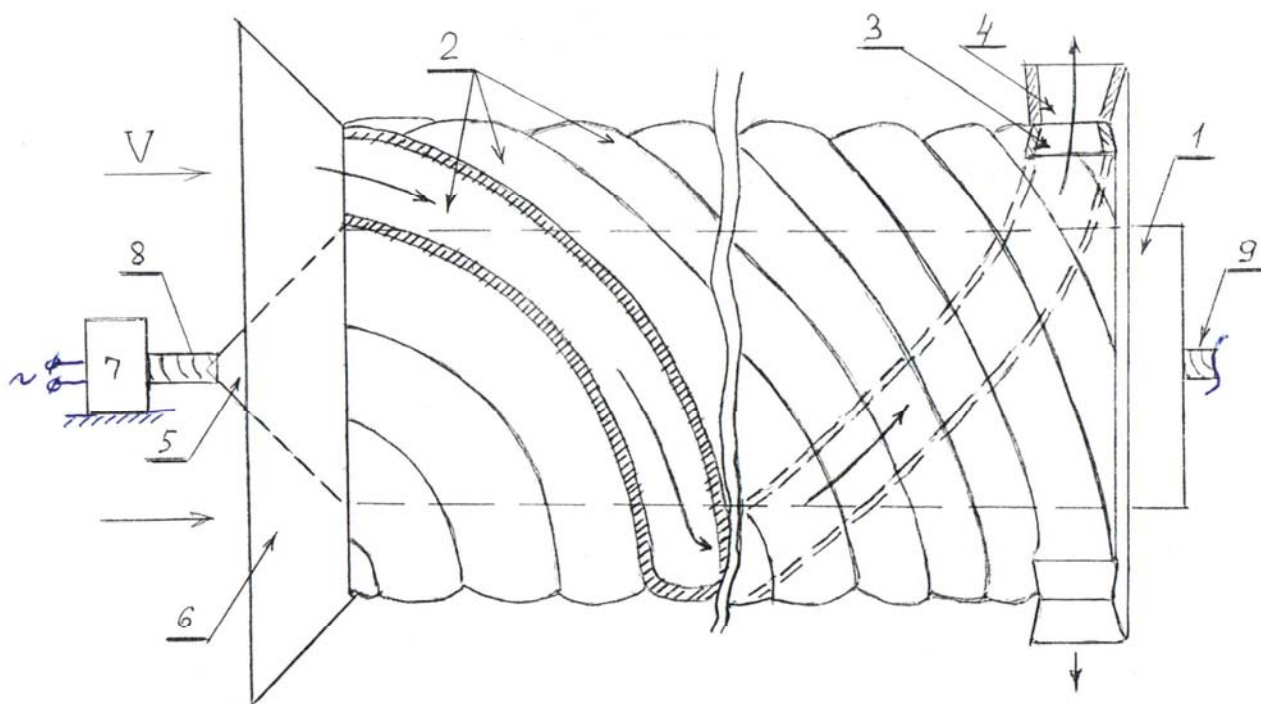
В предложенном устройстве лопасти шнеков выполнены в виде закрытых сверху поверхностей: труб круглого, квадратного или иного профиля, расположенных на цилиндрической поверхности по геликоиде.

Другое отличие заключается в том, что на входе устройства устанавливается конфузор и диффузор для концентрации потока в трубах. Еще одно отличие заключается в том, что на выходе трубы оснащены наконечниками, имеющими профиль отсасывающих труб и расположенными по касательной к окружности цилиндрической поверхности.

Это позволяет, используя данную конструкцию, получить большую удельную мощность от водного потока и повысить ее коэффициент полезного действия.

На чертеже (рисунок) изображен план конструкции предлагаемого устройства. Для упрощения прорисовано движение потока по одной трубе.





Бесплотинная микро-миниГЭС

МиниГЭС содержит поверхность цилиндра (1), на которой по геликоиде размещены трубы (2), выходные концы (3) которых оснащены наконечниками (4), а входные – конфузором (5) и диффузором (6). Конфузор соединен с электрическим генератором (7), например, тросом (8), другой конец (9) которого может соединяться с подобной конструкцией для увеличения суммарной мощности МГЭС.

МиниГЭС работает следующим образом. Входной гидравлический поток «V», отражаясь одновременно от наружной поверхности конфузора 5 (максимальный диаметр конуса которого равен диаметру цилиндрической поверхности) и от внутренней поверхности диффузора 6 (минимальный диаметр которого равен сумме диаметра цилиндрической поверхности и двух диаметров труб), полностью одновременно заполняет все трубы 2. Поток движется внутри труб по геликоиде, создавая касательные давления в трубах.

Поскольку поверхность замкнутая, то все давление потока полностью передается геликоиде по спирали на развитую поверхность труб, заставляя вращаться всю конструкцию. Через трос 8 вращение передается на низкооборотный генератор 7 или на мультипликатор, если используется высокооборотный генератор.

Расположение труб по кривой линии – геликоиде (однооборотной спирали) позволяет максимально использовать кинетическую энергию потока.

Весь поток, прошедший через трубы 2, выбрасывается с их концов 3 через наконечники 4, расположенные по касательной к окружности, создавая при этом реактивную составляющую крутящего момента данной конструкции.

Профили наконечников, кроме того, выполнены с расширением по профилю отсасывающих труб, используемых на выходе гидротурбин.

Предложенное техническое решение позволяет получить от потока большую мощность за счет одновременного использования его кинетической энергии, преобразованной в давление, и за счет реактивной составляющей потока.

Устройство рекомендуется для использования на протяженных участках каналов, рек или ручьев, имеющих скорости течения более 1,5 м в секунду.

Необходимая мощность от потока может быть получена последовательным подсоединением вдоль потока подобных конструкций к выходным концам 9 троса. Вместо троса может использоваться цепь или другая гибкая шарнирная связь между этими конструкциями.

#### *Библиографический список*

1. Блинов Б.С. Гирляндная ГЭС. М., 1963. 16 с., рис. 8, б.
2. Новиков Ю.М. Возможности бесплотинных ГЭС. Научно-технический сборник «Энергия и экология». Новосибирск: изд. Института теплофизики СО РАН, 1988. 81 с.
3. Роторная гидротурбина. Варианты. Патент на полезную модель № 61808. Российская Федерация, МПК F03B 3/12. 2007.
4. Торсионная гидротурбина. Патент на полезную модель № 61809. Российская Федерация, МПК F03B 13/00. 2007.
5. Описание шнековой ГЭС «Future Energy Yorkshire» [электронный ресурс]. Режим доступа: [www.fev.org.uk\(UK\)](http://www.fev.org.uk(UK))
6. Бесплотинная шнековая гидроэлектростанция. Патент на полезную модель № 94642. Российская Федерация, МПК F03D 5/00. 2010.

## **НОВЫЙ ТИП ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ГЕНЕРАЦИЮ ГОРЮЧЕГО ГАЗА ИЗ БИОМАССЫ, ТОРФА И НЕТОВАРНЫХ УГЛЕЙ**

*Зимовец И.А., Гарифуллина Г.Ф., Потапов В.Н., Мехеева Э.Э., Костюнин В.В.  
УрФУ, [tes.urfu@mail.ru](mailto:tes.urfu@mail.ru)*

Несмотря на рекламу и административный ресурс развитых стран в них происходит потеря интереса к тепловым электростанциям с внутрицикловой газификацией обычных, товарных, коммерческих твердых топлив (каменных и бурых углей). По данным ряда авторитетных специалистов в Евросоюзе (ЕС) на тепловых электростанциях (ТЭС) имеется всего лишь 10 парогазовых блоков (ПГУ) 60-380 МВт с внутрицикловой газификацией углей (ПГУВЦГ). Но даже у лучших из них КПД нетто не превышает 40-42 %, в то время как на новейших паротурбинных блоках ФРГ и соседних стран традиционных схем сжигания разных углей КПД нетто уже достиг 45-47 %, и эти блоки в 1,5 раза дешевле и минимум в 10 раз надежнее, чем любые ПГУВГЦ. Все ПГУВЦГ в контексте экостандартов ЕС не имеют преимуществ. Из бесед в разное время одного из авторов со специалистами из стран ЕС следует, что из почти двух сотен блоков ПГУВЦГ разной мощности ни один не доказал рентабельности в эксплуатации – все блоки как-то дотируются, причем более половины из них вообще редко включаются в эксплуатацию. Главным пороком ПГУВГЦ является, во-первых, большой выход смол, которые усложняют ТЭС дополнительными фильтрами,

теплообменниками и другим оборудованием, работающим в тяжелых условиях. Это сильно снижает надежность работы ТЭС, а их затраты на собственные нужды обычно на 8-12 % выше. Во-вторых, газопоршневые машины и особенно газовые турбины самых высоких КПД требуют сложных, дорогих схем очистки искусственных газов от смол, золы и кислот ( $H_2SO_4$ ,  $H_2SO_3$ , HF, HCl). Это требует предварительного охлаждения и очистки горючего газа в аппаратах дорогих и сложных систем, которые быстро заносятся смолами и золой.

Коммерчески выгоднее и доступнее сжигание искусственных газов в малых установках местного теплоснабжения. Здесь можно рассматривать разные схемы подготовки газа, но их выбор всегда индивидуален и определит коммерческую привлекательность самой газогенерации. В этих случаях всего выгоднее газогенерация горючих отходов и биомассы. Считаем, что для ряда видов биомассы, отходов, торфа, углей и их смесей с биомассой лучше всего подходят новые вихревые газогенераторы разработки ООО «ВГС», которые были разработаны ранее, начиная с 2004 года. Более 20 вариантов аппаратов, испытанных на огне. Три варианта мощностью от 2,5 до 8 МВт уже проданы за последние 2 года коммерческим потребителям и находятся в промышленной эксплуатации или в наладочных работах. Эти аппараты имеют управляемую стадийную огневую переработку сырья в газ в 3-4 стадии в управляемом вихре и с оригинальными схемами ввода управляющего воздуха. Лучшими оказались две схемы с постадийным дефицитом воздуха в вихре. В первых двух стадиях процесса он идет с дефицитом воздуха в аппарате в 83-85 % и 70-72 %. В третью камеру аппарата воздух можно не вводить, в ней завершается процесс и даже реализована конверсия смол, что повысило надежность работы теплообменника и золоуловителя, немного повысив теплоту сгорания газа. Вторая схема лучше. Она реализует конверсию паров воды продуктов реакции при дефиците воздуха в 88-90 %, завершая все процессы при дефиците воздуха 80-83 % и 70-72 %. Схема реализована в аппарате мощностью 7-8 МВт при газификации шелухи овса и успешно используется уже более полугода.

Самая привлекательная схема подачи генераторного газа в топку котла для сжигания – это когда газогенератор установлен у горелок, со сбросом в топку неочищенного и неохлажденного газа. В схеме (рис. 1) лучше сделать газогенератор частью горелки и даже котла, который может быть водогрейным отопительным, и паровым при комбинированном производстве электроэнергии и теплоты в традиционных схемах обычных паротурбинных ТЭЦ.

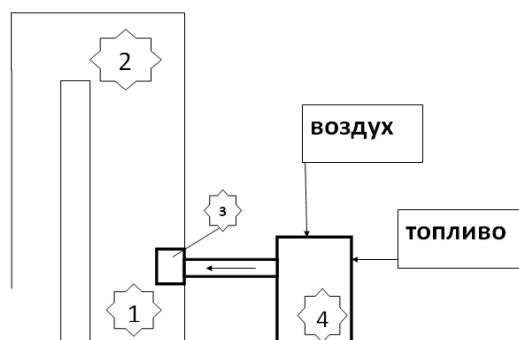


Рис. 1. Схема прямого вдувания в топку горячего неочищенного газа:

1 – топка; 2 – паровой котел; 3 – горелка;  
4 – газогенератор

Главное преимущество этой самой дешевой, простой схемы (рис. 1) то, что она обеспечит полное сжигание всех

смол. Опыт ООО «ВГС» показал, это выгодно при температуре газа до 900-950 °С, но оптимально при 650-850 °С. С учетом потерь и затрат схемы газогенератор – топка ее КПД по теплоте топлива повысится как минимум на 2-3 %, наряду с иными известными схемами. Схема газогенератор – топка предложена двумя авторами текста еще в 2004 году, по сути, является новой технологией сжигания органических топлив с предельным подавлением выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) уже в процессе тепловыделения. В ней можно при этом достичь почти полной утилизации теплоты сгорания исходных топлив с полным сжиганием газа и смол, а при внедрении новейшей технологии ООО «ВГС» – еще и почти всех твердых продуктов неполноты сгорания. В схеме до 80 % всей теплоты сгорания топлива выделится в самом газогенераторе при избытках воздуха не выше 0,28-0,3 и сравнительно низких температурах. В этих аппаратах ООО «ВГС» пребывание образованных  $\text{NO}_x$  в этой восстановительной среде повышено до 5-6 с, а в потенциале новых схем аппаратов – даже до 20 с.

На ООО «ВГС» предложена новая и, видимо, самая эффективная схема ТЭС с газогенерацией биомассы отходов или малотоварных твердых топлив. Новизна состоит в разделении теплоты процесса при частичном охлаждении газа за реактором, с отводом части теплоты процесса (пока около 10-12 %) и ее аккумуляция на несколько часов и даже на сутки работы электрогенератора при отключениях газогенератора или котла. Для получения электроэнергии в схеме следует использовать для привода электрогенератора двигателя Стирлинга. Эти двигатели имеют термический КПД на 10-15 % выше, чем газопоршневые ДВС и даже газовые турбины. Газ после охлаждения до 200-400 °С и очистки от золы (если нужно) поступает на сжигание в топку парового котла. Полученный в нем пар идет на паровую турбину с электрогенератором (рис. 2). На турбину можно подавать даже пар низкого давления, а для повышения КПД цикла по теплоте сожженного топлива паровая турбина должна быть с ухудшенным вакуумом или с противодавлением, то есть без конденсатора. Отопительные нагрузки следует снимать с выхлопа этой турбины, а в особых случаях – также и с бака – аккумулятора запаса теплоты для привода двигателей Стирлинга.

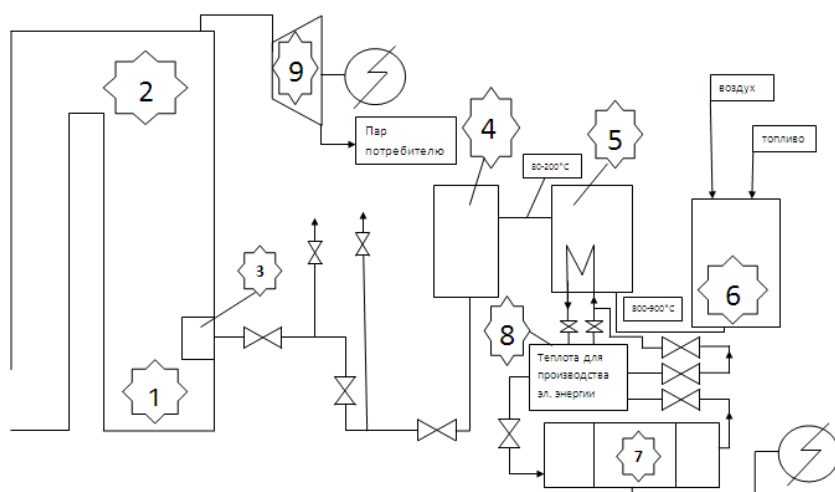


Рис. 2. Новый тип ТЭС комбинированной выработки электроэнергии и теплоты  
1 – топка; 2 – котел; 3 – горелка; 4 – золоуловитель; 5 – охладитель газа; 6 – генератор газа; 7 – двигатель Стирлинга; 8 – бак-накопитель или аккумулятор теплоты; 9 – паровая турбина без конденсатора с ухудшенным вакуумом

Схема (рис. 2), ранее предложенная В.Н. Потаповым и В.В. Костюниным, имеет фундаментальное преимущество перед известными ТЭС (включая ПГУВЦГ) с газогенерацией топлив, которое состоит в том, что в эксплуатации на какое-то время (на сутки, часы) можно разорвать жесткую связь работы газогенератора и котла с отпуском части электроэнергии потребителю и на собственные нужды. При остановках газогенератора и котла отпуск какой-то части электроэнергии и теплоты потребителю и на собственные нужды сохраняется. Схема будет иметь простую дешевую систему очистки газа, так как от его качества работа турбины и двигателя Стирлинга совершенно не зависит. При низкой надежности работы многих известных газогенераторов эта схема аккумуляции низкопотенциальной теплоты с двигателем Стирлинга, на наш взгляд, не имеет пока конкурентных решений, особенно для малых потребителей энергии, полученной из биомассы, торфа, отходов, нетоварных углей и их смесей с биомассой.

## **РАЗРАБОТКА НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ ИЗ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

*Зиятдинова А.Р., Хасанишин Р.Р., Зиятдинов Р.Р.  
Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, olambis@rambler.ru*

Современная промышленность на сегодняшний день ориентирована в основном на потребление ископаемых ресурсов, запасы которых лимитированы, что со временем неизбежно приведет к проблеме нехватки источников энергии. Это обстоятельство заставляет исследователей искать более технологичные возобновляемые и дешевые источники сырья и энергии, одним из которых является биомасса древесины и растительных отходов. По прогнозам Европейского совета по возобновляемой энергетике (EREC), к 2040 г. за счёт возобновляемых источников энергии будет покрываться почти половина мирового потребления первичной энергии, причём 25 % будет составлять доля энергии биомассы.

Однако для промышленной реализации и внедрения новых технологий и соответствующего оборудования для улучшения характеристик топлива из гранулированных древесных и сельскохозяйственных отходов необходимо проведение более глубоких научных исследований. В связи с этим актуальными являются разработка, создание и внедрение нового технологического оборудования для улучшения физико-химических, механических и теплотехнических характеристик топлива из гранулированных древесных и сельскохозяйственных отходов и обеспечение повышения экспортного потенциала гранулированного топлива из биомассы отечественного производства.

Для решения данной проблемы разработан энерготехнологический комплекс для переработки отходов растительного происхождения с целью получения высокотемпературной тепловой энергии и термической обработки сырья для производства гранулированного биотоплива.

В состав энерготехнологического комплекса входят:

- автоматизированная установка для нагрева высокотемпературного теплоносителя для термической обработки биомассы на основе котла с топкой кипящего слоя;
- реактор отжига биомассы перед гранулированием;
- автоматизированная установка для гранулирования предварительно термически обработанной биомассы;
- вспомогательное оборудование.

Схема предложенного энерготехнологического комплекса представлена на рисунке.

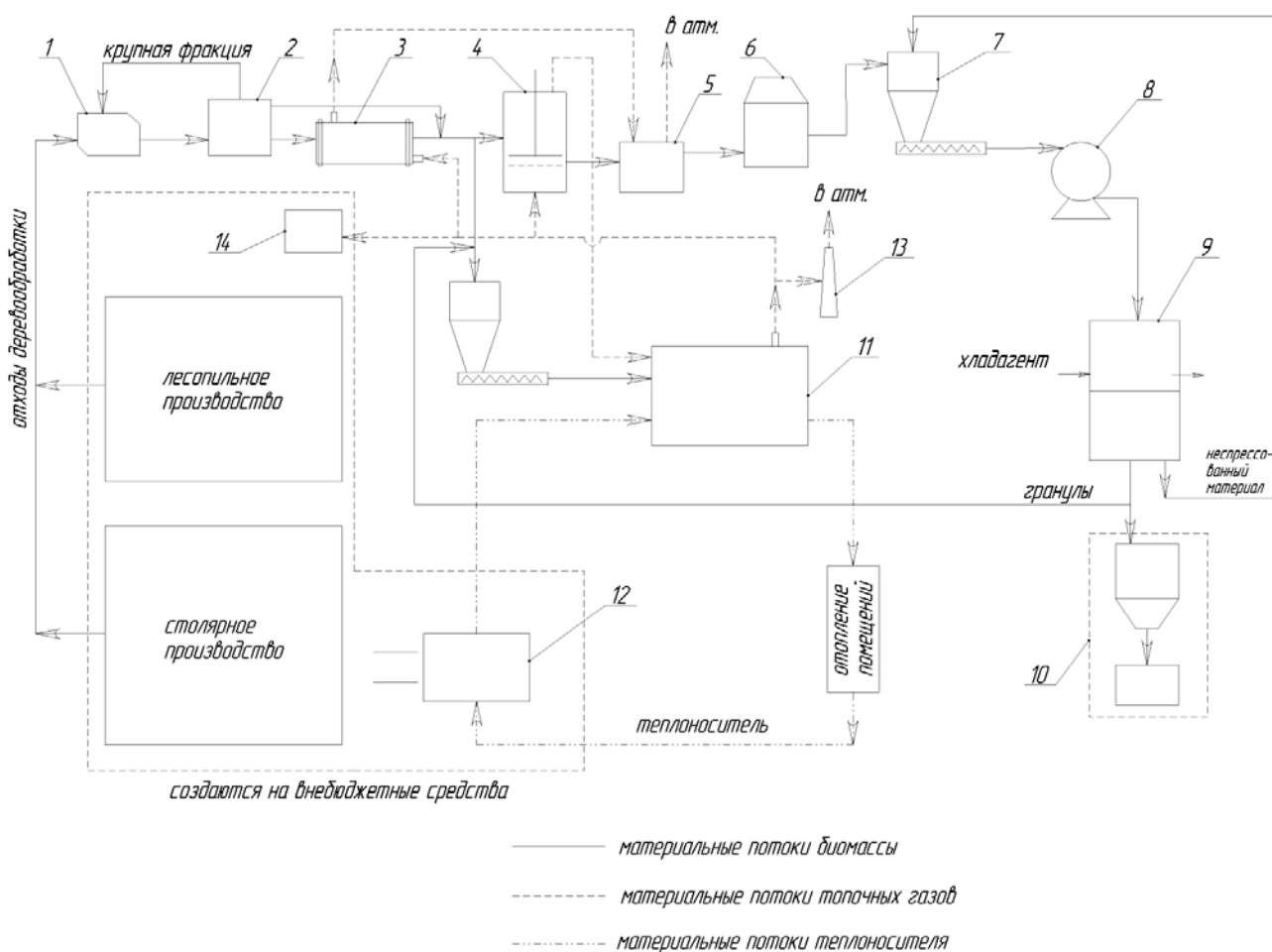


Схема энерготехнологического комплекса

Сырье в виде древесных отходов со склада исходного сырья поступает по транспортеру на измельчение в валковую машину 1, после чего сортируется по фракционному составу в сепараторе 2. Неизмельченные до заданных размеров отходы возвращаются в валковую машину 1. Отсортированное сырье в случае высокой начальной влажности направляется на предварительную сушку до влажности 12-15 % в сушилку 3, в случае низкой начальной влажности – сырье может направляться непосредственно в реактор обжига 4 биомассы, где осуществляется его термическая обработка.

Термическая обработка сырья осуществляется в реакторе отжига в «кипящем слое» в среде топочных газов с содержанием кислорода не более 6 % при температурах 220–260 °С в течение 15–20 мин, что приводит к структурным и химическим изменениям в растительном сырье и вызывает изменение ее физических и физико-химических свойств.

Топочные газы для процессов сушки и термической обработки биомассы образуются в результате газификации биомассы и сжигания синтез-газа в автоматизированном теплогенераторе 11 на основе котла с топкой кипящего слоя с коэффициентом избытка воздуха, близким к 1. Подобный принцип горения позволяет повысить экологичность проекта, существенно сократив выбросы в атмосферу. Образовавшиеся топочные газы охлаждаются в котле до температуры 200–280 °С путем передачи тепловой энергии теплоносителю и частично направляются в реактор 4, сушилку 3, камеру термомодифицирования 14 и частично выбрасываются в атмосферу через трубу 13. Высокотемпературный теплоноситель из теплогенератора 11 направляется для сушки пиломатериалов в камере 12 и отопления производственных помещений. После реактора отжига 4 отработанные топочные газы с продуктами разложения биомассы направляются обратно в теплогенератор 11 для дожигания горючих веществ. Топливом для теплогенератора 11 может служить измельченная биомасса (особенно на пусковом периоде) или гранулированное биотопливо.

На выходе из реактора для термообработки с целью предотвращения самовозгорания сырья (температура самовозгорания растительного сырья  $\approx 170$  °С) устанавливается охладитель для понижения температуры сырья не менее чем до 150 °С, при этом для охлаждения используется отработанный топочный газ после сушилки 3 (температура газа на выходе из сушилки не превышает 130 °С). При этом охлаждение воздухом является недопустимым, поскольку это создает высокую пожароопасность. Влажный отработанный топочный газ выбрасывается в атмосферу, поскольку не содержит вредных примесей.

Далее термически обработанное сырье доизмельчается в дробилке 6 и направляется в расходный бункер 7 для последующей подачи в гранулятор 8 биомассы. На выходе из гранулятора установлена колонка 9 для охлаждения и рассева, из которой несгранулированная биомасса пневмотранспортом возвращается в расходный бункер 7 гранулятора, а готовые гранулы направляются на упаковку 10 (и частично в бункер теплогенератора 11).

В камере 14 осуществляется процесс термомодифицирования пиломатериалов в среде топочных газов с получением термодревеси, которая далее направляется в столярный цех для производства изделий с повышенной био- и влагостойкостью.

Разрабатываемый теплогенератор и реактор позволят повысить объемное теплосодержание биотоплива; снизить затраты на перевозку биотоплива; снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, связанную с производством тепловой и электрической энергии коммунальными и промышленными энергетическими установками при использовании ископаемых видов топлива.

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА УЛЬЯНОВСКА

*Игнатьев С.В., Ртищева А.С.*

*Ульяновский государственный технический университет*

*E-mail: fester-92@mail.ru; al.rtisheva@mail.ru*

В целом, в мире огромную популярность преобретают солнечные батареи. Опыт многих стран показывает эффективность их использования, несмотря на долгий срок окупаемости. Современные технологии также идут по пути удешевления их производства.

История создания солнечных элементов (СЭ) начинается в 1839 году, когда был открыт фотоэлектрический эффект. Ч. Фриттс в 1883 году создал первый солнечный модуль. Основой изобретения был покрытый тонким слоем золота селен. КПД этой батареи был не более 1 %. В 1970 году в СССР Ж. Алфёровым и его соратниками была создана первая высокоэффективная гетероструктурная (с применением галлия и мышьяка) солнечная батарея. К середине 70-х годов прошлого века удалось поднять КПД СЭ до 10 %. После этого наступила полоса застоя почти на два десятилетия. Для использования в космических аппаратах данного значения КПД было вполне достаточным, но для применения на Земле производство солнечных батарей в то время было нецелесообразным, так как необходимый для этого кремний стоил очень дорого (до 100 долларов 1 кг), использование значительных запасов органического топлива было дешевым [1, 2].

Выпускаемые в настоящее время СЭ представляют собой достаточно громоздкую конструкцию: при толщине батареи несколько сантиметров ее вес достигает десятков килограммов.

Существует три вида СЭ: монокристаллический, поликристаллический и аморфный (тонкопленочный). Различие между этими видами в том, как организованы атомы кремния в кристалле. Каждому виду СЭ соответствует свой определенный КПД (монокристаллические: 15-22 %; поликристаллические: 12-17 %; аморфные: 6-10 %), срок службы и затраты на производство [1, 2].

Для получения достаточного количества энергии такие элементы должны занимать значительную площадь: так, кристаллический кремниевый СЭ с размерами 10x10 см имеет пиковую мощность примерно 1,5 Вт. Большинство панелей с площадью 1 м<sup>2</sup> имеют максимальную мощность около 100 Вт. На рис. 1 представлена принципиальная схема СЭ.

Важным параметром в эксплуатации СЭ являются климатические условия, в которых она используется. Коэффициент полезного действия батареи в жарких условиях снижается, что объясняется снижением генерируемой мощности при нагревании. Избежать этого эффекта невозможно, поскольку элемент работает на солнце. Однако, это может служить плюсом использования солнечных батарей в средних широтах.



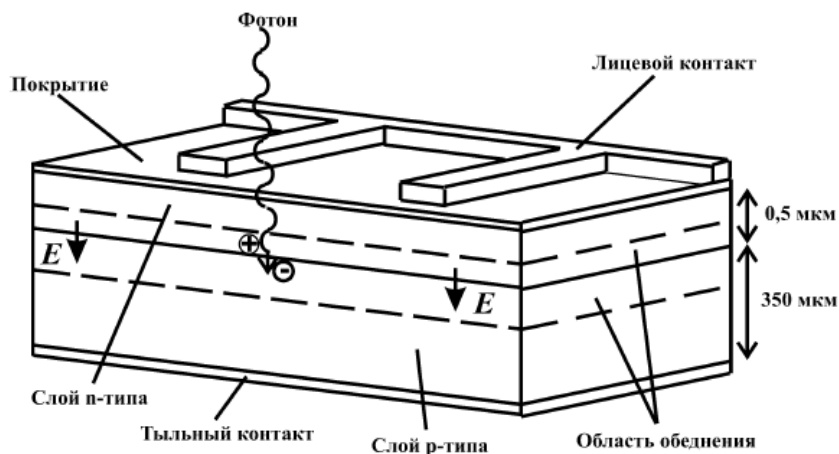


Рис. 1. Схема кремниевого монокристаллического солнечного элемента

Также стоит учитывать, что для различных типов батарей существует своя зависимость параметров от температуры (таблица).

Влияние температуры на рабочие энергетические характеристики солнечных батарей типа SPP1.1

Поз.	Параметр	$t, ^\circ\text{C}$		
		0	25	60
1	$U_{\text{хх}}, \text{В}$ (запирающее напряжение)	22,4	20,5	17,8
2	$I_{\text{кз}}, \text{А}$ (ток короткого замыкания)	2,93	2,98	3,05
3	Ток в точке с минимальной мощностью, $\text{А}$	2,71	2,76	2,83
4	Ток в точке с максимальной мощностью, $\text{А}$	50,8	45	37,8

Производство солнечных батарей в России и в мире стремительно растет (рис. 2). Статистика показывает, что лидирующую позицию в их производстве по данным за 2011 г. занимает Китай (рис. 3). В частности, компания Suntech Power занимает первое место в списке производителей солнечных батарей (рис. 4).

В России также существует ряд компаний, производящих СЭ:

1. ООО “Хевел” (г. Новочебоксарск);
2. “Телеком-СТВ” (г. Зеленоград);
3. “Солнечный ветер” (г. Краснодар);
4. ОАО НПП “Квант” (г. Москва);
5. ОАО “Рязанский завод металлокерамических приборов” (г. Рязань);
6. ЗАО “Термотрон-завод” (г. Брянск);
7. ОАО “Сатурн” (г. Краснодар).

Панели СЭ гарантировано работают 20-25 лет, а высококачественные имеют срок службы до 40 лет, однако даже после этого срока панель способна работать на 60-70 % своей мощности.



Рис. 2. Объем мирового производства солнечных батарей за 2011 г.



Рис. 3. Мировой рынок по производству солнечных батарей за 2011 г.



Рис. 4. Крупнейшие компании по производству солнечных батарей

В работе поставлена задача исследования эффективности использования солнечных батарей в климатических условиях г. Ульяновска. В исследовании будут использованы как математический эксперимент, так и натурный эксперимент, так как лаборатории Ульяновского государственного технического университета располагают

поликристаллическим СЭ. Также в рамках научного исследования будут использоваться библиотеки программного пакета TRNSYS по средним значениям солнечной радиации для городов России, находящихся на широте г. Ульяновска.

#### Библиографический список

1. Гременок В. Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / В. Ф. Гременок, М. С. Тиванов, В. Б. Залесский. Минск: Центр БГУ, 2007. 222 с.
2. Виссарионов В.И., Дерюгина Г. В. и др. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В. И. Виссарионова. М.: МЭИ, 2008. 320 с.

## ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГО– И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА

Князева Е.А., Ануфриев В.П.  
УрФУ, knjasez@mail.ru, uralliga@rambler.ru

В течение последних 20 лет в России осуществляется интенсивный переход птицеводства на промышленную основу. Свердловская область по производству яиц одна из лидеров среди других регионов. Так прирост производства яиц в 2010 г. по отношению к 2009 г. в Свердловской области составлял

55,6 млн шт. [1]. С ростом темпов производства яиц все более актуальной становится проблема утилизации отходов птицеводства. Птицеводство является одним из источников загрязнения атмосферного воздуха, подземных и грунтовых вод. Нами рассмотрены различные технологии утилизации помета птиц и была выбрана двухстадийная технология анаэробного сбраживания фирмы ZORG (Германия). Весь цикл от начала проектирования установки до сдачи под ключ составляет 9 месяцев. Биогазовая установка по утилизации помета – наиболее экологически чистая, и в отличие от других систем не потребляет энергию, а производит электрическую и тепловую энергию за счет получения биометана.

Таблица 1

Технические характеристики биогазовой станции ZORG на помете  
(мощность соответствует Рефтинской птицефабрике)

Характеристики		Ед. изм.	Значения
1	Производительность по переработке сырья	т/сут.	200
2	Выход биогаза	м <sup>3</sup> /сут.*	26000
3	Потребляемая электрическая мощность	кВт·ч	100
4	Потребляемая тепловая мощность (Т = - 20С°)	кВт·ч	750
5	Выход твердых биоудобрений	т/сут.	150
6	Выход жидких биоудобрений	м <sup>3</sup> /сут.	30

\* выход биогаза из свежего помета

Таблица 2

Технические характеристики энергетического комплекса ZORG

Поз.	Показатель	Ед. изм.	Значение	% от текущего потребления
1	Вырабатываемая мощность по электроэнергии	МВт	2,68	
2	Вырабатываемая мощность по тепловой энергии	МВт	2,68	
3	Отпуск электроэнергии	тыс. кВт·ч/год	18683	43,1
4	Отпуск тепловой энергии	Гкал/год	22600	8,1
5	Производство удобрений	т/год	35467	

Ценность биоудобрений определяется содержанием биосоставляющей. Она содержит гуминовые кислоты и макроэлементы. При использовании биоудобрений урожайность повышается на 30-50 %.

Предполагается, что твердые удобрения частично будут использоваться на собственные нужды птицефабрики, а частично реализовываться на внешнем рынке. Из 1 м<sup>3</sup> биогаза в когенерационной теплоэлектростанции можно выработать 2,4 кВт·ч электроэнергии, а также 2,8 кВт·ч тепловой энергии (при 60 % метана в биогазе). Биогаз-газ, получаемый метановым брожением биомассы, состоящий примерно из 60 % метана (СН<sub>4</sub>) и 40 % углекислого газа (СО<sub>2</sub>). Микроорганизмы метаболизируют углерод из органических субстратов в бескислородных условиях (анаэробно). Биогаз сжигается в теплоэлектростанции напрямую без обогащения. Для производства тепла биогаз специально не сжигается. Тепло берется от охлаждения двигателя.

## Основные характеристики биогаза

Запас энергии в 1 м <sup>3</sup> биогаза	6-6,5 кВт·ч
Теплотворная способность	6000-7500 ккал/м <sup>3</sup>
Плотность биогаза	1,16-1,27 кг/м <sup>3</sup>
Температура возгорания	650-750 °С
Давление биогаза в реакторе	0,05 атм
Давление биогаза перед потребителем	поднимается до требуемого

Из тонны птичьего помета клеточного (75 % влажность) выход биогаза составляет 103 м<sup>3</sup>, из тонны подстилочного птичьего помета (60 % влажность) – 90 м<sup>3</sup>.

Источником дохода по проекту является продажа тепловой и электрической энергии, а также твердого субстрата в качестве удобрения.

Этот способ утилизации может быть оптимальным для птицефабрик Свердловской области в связи с вступлением России в ВТО и предполагаемым ростом экологических платежей. Эколого-экономическая оценка эффективности данного инвестиционного проекта показала, что внедрение установки ZORG позволит:

1. Экономить ископаемое углеводородное топливо за счет использования местных видов (биогаз).

2. Предотвратить выброс метана в атмосферу, что дополнительно обеспечит экологический и климатический эффект.

*Библиографический список*

1. Бессарабов Б.Ф., Крыканов А.А., Могильда Н.П. Технология производства яиц и мяса птицы на промышленной основе: Учебное пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2012. 336 с.: ил.

## ВИХРЕВЫЕ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЫ

*Колпакова Н.В., Колпаков А.С.*

*УрФУ, kafedratdiv@yandex.ru*

Интенсивные процессы тепло- и массопереноса, происходящие в вихревых потоках газов и жидкостей, обуславливают более широкое применение вихревых устройств в различных отраслях народного хозяйства в качестве циклонов, вихревых охладителей воздуха, горелок, гидравлических теплогенераторов и др.

Работа вихревых теплогенераторов производится на основе способа разделения потока газа в вихревой трубе на два потока с различной температурой, т.е. на эффекте Ранка. Одним из первых ученых, которому пришла в голову идея запустить в трубу Ранка жидкость, является российский ученый Александр Меркулов.

Вода в вихревой трубе разделяется на два потока, имеющих разные температуры. Но не на горячий и холодный, а на горячий и тёплый. Ибо температура «холодного» потока оказалась чуть выше, чем температура исходной воды, подаваемой насосом в вихревую трубу. Тщательная же калориметрия показала, что тепловой энергии такое устройство вырабатывает больше, чем потребляет электрической двигатель насоса, подающего воду в вихревую трубу [1, 2].

Правильнее говорить об эффективности теплогенератора — отношении величины вырабатываемой им тепловой энергии к величине потребленной им для этого извне электрической или механической энергии. Но поначалу исследователи не могли понять, откуда и как в этих устройствах появляется избыточное тепло. Предполагали даже, что тут нарушается закон сохранения энергии.

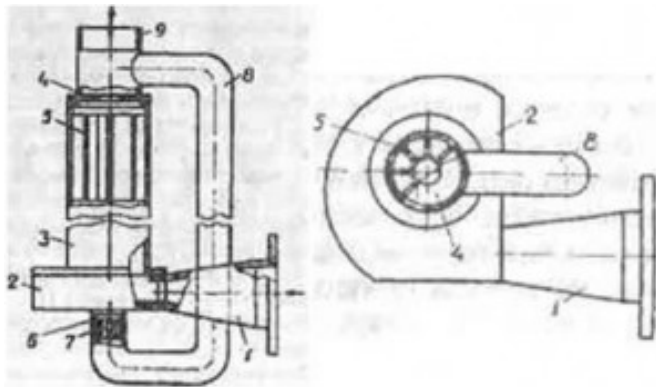


Схема вихревого теплогенератора:  
 1 – инжекционный патрубок; 2 – улитка;  
 3 – вихревая труба; 4 – доньшко;  
 5 – спрямитель потока; 6 – штуцер;  
 7 – спрямитель потока; 8 – байпас;  
 9 – патрубок.

Вихревой теплогенератор, схема которого приведена на рисунке, присоединяют инжекционным патрубком 1 к фланцу центробежного насоса (на рисунке не показан), подающего воду под давлением 4-6 атм. Попадая в улитку 2, поток воды сам закручивается в вихревом движении и поступает в вихревую трубу 3, длина которой раз в 10 больше ее диаметра. Закрученный вихревой поток в трубе 3 перемещается по винтовой спирали у стенок трубы к ее противоположному (горячему) концу, заканчивающемуся доньшком 4 с отверстием в его центре для выхода горячего потока. Перед доньшком 4 закреплено тормозное устройство 5 – спрямитель потока, выполненный в виде нескольких плоских пластин, радиально приваренных к центральной втулке, соосной с трубой 3. В виде сверху он напоминает оперенные авиабомбы или мины.

Когда вихревой поток в трубе 3 движется к этому спрямителю 5, в осевой зоне трубы 3 рождается противоток. В нём вода, тоже вращаясь, движется к штуцеру 6, врезанному в плоскую стенку улитки 2 соосно с трубой 3 и предназначенному для выпуска «холодного» потока. В штуцере 6 изобретатель установил ещё один спрямитель потока 7, аналогичный тормозному устройству 5. Он служит для частичного превращения энергии вращения «холодного» потока в тепло. А выходящую из него тёплую воду направил по байпасу 8 в патрубок 9 горячего выхода, где она смешивается с горячим потоком, выходящим из вихревой трубы через спрямитель 5. Из патрубка 9 нагретая вода поступает либо непосредственно к потребителю, либо в теплообменник, передающий тепло в контур потребителя. В последнем случае отработанная вода первичного контура (уже с меньшей температурой) возвращается в насос, который вновь подаёт её в вихревую трубу через патрубок 1.

Теплогенератор, представленный на рисунке, превращает в тепло часть своей внутренней энергии, а точнее часть внутренней энергии своей рабочей жидкости – воде.

Использование теплогенераторов особенно выгодно там, куда ещё не дотянулись газопроводы и где люди вынуждены использовать для нагрева воды и обогрева помещений электроэнергию, которая с каждым годом становится всё дороже.

Установка теплогенераторов позволяют экономить треть той электроэнергии, которая необходима для нагрева воды и отопления помещений традиционными методами электронагрева.

Пример расчёта оплаты при эксплуатации ВТГ-15:

Оплата потребленной электрической энергии при эксплуатации ВТГ за 1 час работы – 33,6 руб., суточная оплата – 201,6 руб., ежемесячная оплата – 6048 руб., оплата за отопительный период – 39916,8 руб.

Преимущества ВТГ при использовании в системах отопления и ГВС:

Экономичный:

1. отсутствие затрат на прокладку тепловых и газовых сетей;
2. отсутствие затрат на водоподготовку (качество воды, степень её загрязнения в системе отопления и минерализация не влияют на работу теплогенератора);
3. благодаря оригинальному методу нагрева теплогенератора, накипь в системе отопления не образуется;
4. отсутствие необходимости закупки, транспортировки и хранения топлива.

Безопасность в работе и экологические преимущества:

1. работа теплогенератора исключает использование загрязняющих окружающую среду веществ (газ, уголь, дрова, дизельное топливо) и, соответственно, исключает выделение продуктов горения и распада в воздух. Вероятность взрыва или пожара исключена;
2. применение современных приборов контроля безопасности полностью исключает неуправляемый рост температуры и давления в системе отопления.

Простота обслуживания:

1. для монтажа достаточно присоединить подающий и обратный патрубки вихревого теплогенератора к соответствующим патрубкам системы отопления;
2. процесс нагрева и контроль работы системы отопления осуществляется с помощью блока автоматического управления. Специальной подготовки обслуживающего персонала не требуется.

Надежность работы: срок службы – не менее 10 лет, с сервисной заменой сальников и подшипников в течение срока работы генератора.

Вихревые теплогенераторы работают в автоматическом режиме с любым теплоносителем в заданном диапазоне температур, как по теплоносителю, так и по температуре воздуха в помещении.

#### *Библиографический список*

1. Потапов Ю.С. Термогенератор и устройства для нагрева жидкостей. 1998. 5 с.
2. Пиралишвили Ш.А. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения. М.: Энергомаш, 2000. 414 с.

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗА ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ

*Миронова Е.А, Непогодин А.М.*

*Ижевский государственный технический университет*

*Mir-ekaterina50-8@mail.ru*

Постоянно растущие цены на ископаемое органическое топливо делают весьма актуальными задачи изыскания альтернативных, постоянно возобновляемых источников энергии. Использование отходов городского хозяйства, птицеводства, животноводства и растениеводства как альтернативных и возобновляемых источников тепловой и электрической энергии давно является одним из важнейших направлений в энергетической стратегии многих стран мира.

Одним из способов использования биологических отходов является использование биогазовых технологий, суть которых заключается в переработке биологических отходов в анаэробном реакторе биогазовой установки. В биогазовой установке происходит переработка осадков сточных вод, навоза и растительных остатков с получением горючего биогаза и высококачественного удобрения.

Целью переработки биоотходов является снижение загрязнения окружающей среды и использование энергетического потенциала органических остатков.

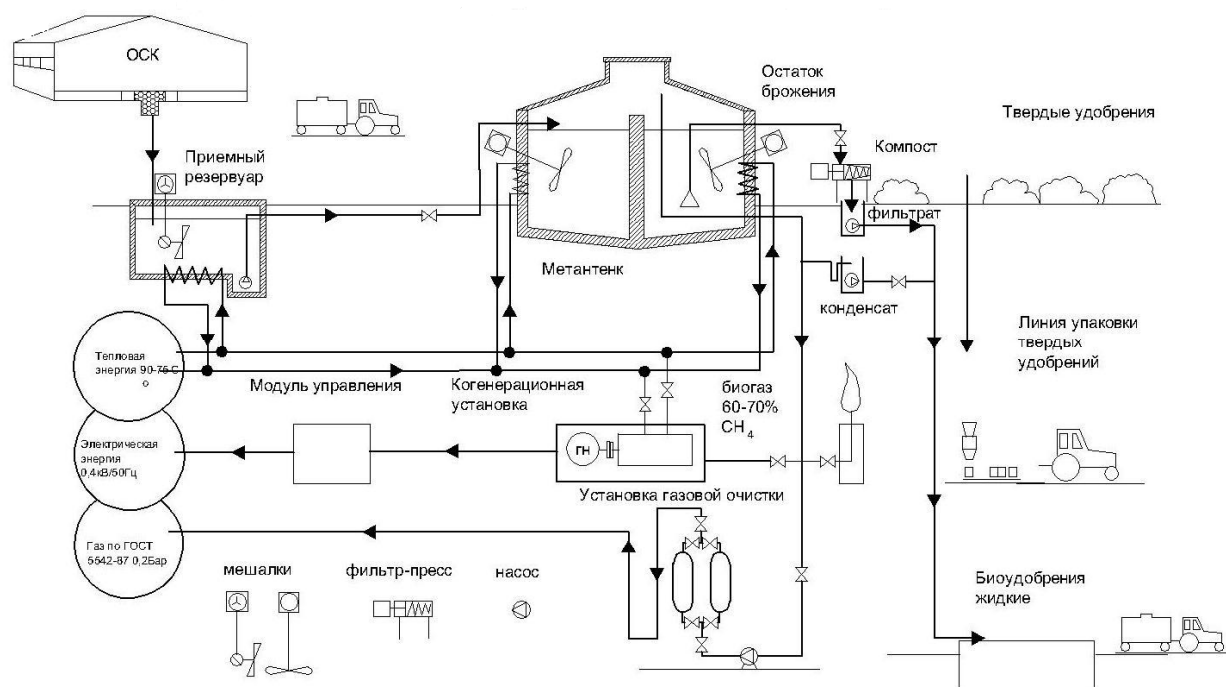
Биогаз – это горючая газовая смесь, состоящая из 50-70 % метана, 30-40 % углекислого газа и небольшие количества сероводорода, аммиака, водорода. Из 1 м<sup>3</sup> биогаза можно получить около 18-24 МДж энергии.

Обобщенная схема биогазовой установки для переработки биоотходов состоит из следующих основных элементов: приемника отходов, биореактора, газового и теплового хозяйства. Основой любой биогазовой установки является биореактор или метантенк. В реакторе устанавливаются системы термостатирования, отбора биогаза, перемешивания. Объемы метантенков могут варьировать в больших пределах – от 3 м<sup>3</sup> до 5 тыс. м<sup>3</sup>.

Для производства биогаза возможно использование следующих органических материалов:

- жидкий навоз, твердый компост;
- биологические отходы, собранные на фермах;
- вторичное (вторично выращенное) сырье (кукурузный силос, непищевые зерна);
- сточные воды и их осадки;
- биологические отходы от ферм по забою крупного рогатого скота, пивоваренных заводов и дистилляторов, складов для хранения фруктов, молочных ферм и др.

Схема анаэробной обработки осадков сточных вод с получением биогаза и преобразованием его в электрическую и тепловую энергии на очистных сооружениях канализации представлена на рисунке.



Принципиальная схема получения и утилизации биогаза из осадка сточных вод на очистных сооружениях канализации

Сырой осадок после первичных отстойников и избыточный активный или аэротенков сгущается до 95 % и направляется через теплообменник в метановый реактор, где под действием метанобразующих бактерий, без доступа кислорода, часть органической составляющей распадается и образуется биогаз. Газ накапливается под колпаком метантенка. Сброженный осадок поступает на сгущение или механическое обезвоживание, затем вывозится на иловые площадки для складирования или перерабатывается для получения биоудобрений.

Биогаз, пройдя осушение, очищается от примесей серы и собирается в аккумулирующие ёмкости – газгольдеры, для последующей переработки на когенерационных установках в тепло и электричество. Подача газа на сжигание происходит прямо из газгольдера. Биогаз может использоваться в газовых турбинах или газопоршневых двигателях.

В биогазовых энергоустановках лучшие характеристики показывают биогазовые дизельные двигатели. Широкое распространение получили биогазовые двигатели немецкой марки *Jenbacher*. Эти двигатели являются в данный момент наиболее экономически эффективным способом производства энергии.

Часть энергии направляется на обогрев метантенка и поддержания необходимой для технологии температуры, а оставшая часть биогаза может быть использована для нужд теплоснабжения близлежащими посёлками. Для сжигания излишка биогаза в составе сооружений предусмотрена газовая свеча.

**Выводы:**

1. Образующийся биогаз может использоваться как энергоресурс для выработки тепловой и электрической энергии в различных энергетических устройствах. Это позволит полностью обеспечить энергопотребность очистных сооружений и близлежащего поселка.



2. Использование биогаза позволяет полностью или частично отказаться от природного газа, цены на который непрерывно растут.

3. Применение биогазовых технологий позволяет получить дешевые экологически чистые органические удобрения и обеспечить процесс восстановления и увеличения естественного плодородия почв.

*Библиографический список*

1. Баадер В, Доне Е, Бренндерфер М. Биогаз: теория и практика / пер. с нем. и предисловие М.И. Серебряного. М.: Колос, 1982. 148 с.
2. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. М.: Стройиздат, 1991. 128 с.

## ДРЕВЕСНАЯ БИОМАССА КАК ИСТОЧНИК БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Нараева А.А., Нареева Р.Р.*

*Южно-Уральский государственный университет  
nar.ru@mail.ru*

Использование биомассы в качестве энергетического сырья позволяет решить проблему энергосбережения и, вместе с тем, другую важную проблему – экологическую. На сегодняшний день актуальным является развитие биоэнергетики как в целом по России, так и по регионам в отдельности. Челябинская область обладает достаточным запасом древесной биомассы, что позволяет развивать биоэнергетику области.

На примере Национального парка «Таганай», расположенного на территории в 56843 га, проанализированы ресурсы древесной биомассы и возможность ее использования в качестве энергетического сырья. В соответствии с Лесохозяйственным регламентом лесничества «Национальный парк «Таганай» предусмотрены виды рубок: А, Б, В, Г (табл. 1) с ежегодным допустимым объемом изъятия древесины 8,46 тыс. м<sup>3</sup> на площади 398,4 га (табл. 2).

Таблица 1

Виды рубок	А	Рубка лесных насаждений при уходе за лесами
	Б	Рубка поврежденных и погибших лесных насаждений
	В	Рубка лесных насаждений на лесных участках, предназначенных для строительства, реконструкции и эксплуатации объектов лесной, лесоперерабатывающей инфраструктуры и объектов, не связанных с созданием лесной
	Г	Санитарно-оздоровительные мероприятия (рубка поврежденных и погибших лесных насаждений)

Таблица 2

Поз.	Наименование	Виды рубок				Итого
		А	Б	В	Г	
1	Площадь, га	64 (36 – хв)	147	63,4	124	398,4
2	Лесосека (или предполагаемый ЛЗ), тыс. м <sup>3</sup>	2,9	0,6	2,66	2,3	8,46

Обозначения, принятые в таблице: ЛЗ – ликвидный запас; хв – хвойное хозяйство.

Изъятая древесина подразделяется на категории:

- деловая древесина – древесина отпускного диаметра (для хвойных пород вместе с корой), поступает на нижний склад, перерабатывается в определенный вид продукции (чаще всего – круглый лес), затем поступает в продажу;
- дровяная древесина – технологические дрова, топливные дрова;
- «чистые» отходы – вершинки, кора, сучья, щепа и т.п.

Технологические потери или производственные «отходы» в среднем по лесосекам могут составлять около 30 %. С учетом возможных технологических потерь получены данные по ежегодным объемам изъятой древесины (табл. 3).

Таблица 3

Наименование		Технологические потери, тыс. м <sup>3</sup>	ЛЗ (с учетом технологических потерь), тыс. м <sup>3</sup>	Деловая древесина, тыс. м <sup>3</sup>	Технологические дрова, тыс. м <sup>3</sup>	Топливные дрова, тыс. м <sup>3</sup>	«Чистые» отходы, тыс. м <sup>3</sup>	Сумма отходов, в т.ч. ликвидной (по столбцам 2, 5, 6, 7), тыс. м <sup>3</sup>
1		2	3	4	5	6	7	8
0 % технологических потерь								
Виды рубок	А	0	2,9	2	0,9	-	-	0,9
	Б	0	0,6	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3
	В	0	2,66	1,88	0,39	0,39	0,39	0,78
	Г	0	2,3	0,4	-	1,9	1,9	1,9
Итого		0	8,46	4,58	1,39	2,49	2,49	3,88
10 % технологических потерь								
Виды рубок	А	0,29	2,61	1,85	0,26	0,13	0,37	1,05
	Б	0,06	0,54	0,27	0,09	0,13	0,13	0,28
	В	0,27	2,39	1,7	0,24	0,12	0,33	0,96
	Г	0,23	2,07	0,36	-	-	1,71	1,94
Итого		0,85 (0,21)	7,61	4,18	0,84	2,54	2,54	4,23
20 % технологических потерь								
Виды рубок	А	0,58	2,32	1,647	0,232	0,116	0,325	1,253
	Б	0,12	0,48	0,24	0,08	0,116	0,116	0,316
	В	0,532	2,128	1,511	0,213	0,107	0,298	1,149
	Г	0,46	1,84	0,32	-	-	1,52	1,98
Итого		1,692 (0,42)	6,768	3,72	0,748	2,303	2,303	4,742
30 % технологических потерь								
Виды рубок	А	0,87	2,03	1,44	0,203	0,102	0,284	1,46
	Б	0,18	0,42	0,213	0,07	0,14	0,14	0,39
	В	0,798	1,862	1,322	0,186	0,093	0,261	1,338
	Г	0,69	1,61	0,267	-	-	1,333	2,023
Итого		2,54 (0,64)	5,92	3,24	0,654	2,018	2,018	5,21

В табл. 3 в столбце 2 в скобках указана величина – в т. ч. 25 % деловой древесины.

Рассчитан объем дровяной древесины и отходов ( $V_{отх}$ ) для разных вариантов технологических потерь с учетом содержания в этих потерях деловой

древесины, составляющей в среднем 25 %. С учетом плотности древесины преобладающих лесообразующих пород и ее относительной влажности, выполнен расчет по определению веса биомассы древесных отходов ( $m$ ). При этом для дровяных отходов (технологические и топливные дрова, деловая в технологических потерях древесина) масса «плотного» кубического метра древесины принята равной 0,9 т при исходной относительной влажности сырья 55 %; для отходов (ветки, кора, щепа, сухостой и т.п.) – 0,5 т при относительной влажности 20 % (для атмосферно-сухой древесины). Выполнены расчеты веса биомассы древесных отходов по сухой массе ( $m^{сух}$ ), тепла ( $Q$ ), технического потенциала ( $W_t$ ) использования отходов лесных рубок. Исходя из полученных объемов сырья, рассчитан годовой объем производства гранул ( $m_{гр}$ ). Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4

ТП	0 %			20 %			30 %		
Виды отходов	Др.д.	Чист. отх.	Дел. отх.	Др.д.	Чист. отх.	Дел. отх.	Др.д.	Чист. отх.	Дел. отх.
$V_{отх}, \text{тыс. м}^3$	1,39	2,49	2,29	0,748	2,303	1,86	0,654	2,018	1,62
$\sum V_{отх}, \text{тыс. м}^3$	6,17			4,91			4,29		
$m, \text{т}$	1250	1245	1145	673	1150	930	587	1010	810
$\sum m, \text{т}$	3640			2753			2407		
$m^{сух}, \text{т}$	654	1158	1065	352	1070	865	307	940	753
$\sum m^{сух}, \text{т}$	2877			2287			2000		
$Q, \text{МДж}$	$40 \cdot 10^6$			$32 \cdot 10^6$			$28 \cdot 10^6$		
$W_t, \text{т у.т.}$	2275			1721			1504		
$m_{гр}, \text{т}$	688	1122	1032	370	1037	838	324	909	730
$\sum m_{гр}, \text{т}$	2842			2245			1963		

В таблице приняты обозначения: ТП – технологические потери; Др.д. – дровяная древесина; Чист. отх. – «чистые» отходы, Дел. отх. – отходы от деловой древесины.

С учетом объема ежегодных лесных рубок по всем лесным хозяйствам области, территория лесного фонда которой составляет 2,8 млн. га, с расположенными на ней 30 лесхозами и 2 национальными парками, можно сделать вывод: древесная биомасса Челябинской области имеет достаточный потенциал, который можно использовать в качестве биоэнергетического сырья.

#### Библиографический список

1. Васильев Ю.С. Оценки ресурсов возобновляемых источников энергии в России: справочник – учебное пособие / Ю.С. Васильев [и др.]. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 250 с.
2. Бегунков О.И. Использование низкотоварной древесины и отходов лесопромышленного производства: Практическое руководство / Бегунков О.И., Выводцев Н.В., Гурьев В.В. и др. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2003. 132 с.
3. Проект освоения лесов расположенных на землях Национального парка «Таганай» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Федеральное государственное учреждение «Национальный парк «Таганай», Златоуст, 2009.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ В СОСТАВЕ ПГУ УТИЛИЗАЦИОННОГО ТИПА**

*Олейникова Е.Н., Дудолин А.А., Буров В.Д.  
Московский энергетический институт, nil\_pgu@mail.ru*

Согласно Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. (утвержденной 13 ноября 2009 г.) для повышения энергетической и экологической эффективности российской экономики и энергетики основные ориентиры развития энергетического сектора предусматривают широкое использование мер по технологическому энергосбережению. Предполагается, что результатом политики энергосбережения станет снижение энерго-, электроемкости российской экономики, что приведет к изменению динамики внутреннего спроса на первичные энергоносители и электроэнергию [1]. В связи с этим становится особенно актуальной проблема внедрения энергосберегающих технологий в обширном секторе российской экономики – в энергетической отрасли, основу которой составляют тепловые электрические станции (ТЭС).

По состоянию на 2011 г. [2] в структуре потребления органического топлива доля газового топлива по России составляет 70 %, угольного – 28 %, мазутного – 2 %. Структура потребления к 2030 г. изменится незначительно. Значительная доля использования органического топлива, а также его ограниченные запасы формируют необходимость исследования методов по сокращению его потребления. Так, на ТЭС одной из первостепенных задач является увеличение эффективности использования первичных энергоресурсов.

Использование теплонасосных установок (ТНУ) на тепловых электрических станциях является одним из возможных направлений политики энергосбережения. Утилизация низкопотенциальной теплоты на ТЭС с целью увеличения доли отпускаемой тепловой мощности с использованием ТНУ парокомпрессионного типа с электрическим приводом приводит к возрастанию коэффициента использования теплоты топлива (КИТТ) и электрического КПД брутто энергоблока [3], однако приводит к возрастанию доли электроэнергии на собственные нужды. Использование газопоршневого или газотурбинного приводного механизма является одним из способов снижения затрат электроэнергии на привод компрессора ТНУ.

В исследовании сравниваются следующие варианты схем ПГУ-ТЭС с парокомпрессионной ТНУ:

- 1) с электрическим приводом компрессора ТНУ;
- 2) с газопоршневым приводом компрессора ТНУ.

Расчеты выполнены для схемы ПГУ-110Т утилизационного типа, график теплового потребителя 130/70. Климатические условия сибирского федерального округа. Сравнение вариантов схем проводится при среднеотопительной температуре окружающей среды. Источник низкопотенциальной теплоты для ТНУ: циркуляционная вода конденсатора паровой турбины, хладагент-бутан. Назначение ТНУ – отпуск дополнительной теплоты потребителю.

Поскольку ПГУ-ТЭЦ производит два вида энергетической продукции: тепловую и электрическую энергии, формируется необходимость использования критерия эффективности для системы с замещающими источниками. Таким образом, производится выравнивание предложенных вариантов схем по отпуску тепловой и электрической мощности.

Моделирование схем осуществляется в программной среде «Thermoflex» разработки компании «Thermoflow». Данный программный продукт позволяет выполнить расчет тепловой схемы энергообъекта, в том числе с оборудованием нового типа и различными схемными решениями. В программной среде «Thermoflex» имеется возможность моделирования теплонасосных установок как в схеме тепловой станции, так и отдельным модулем, а также обширная база хладагентов. Результаты расчетов приведены в таблице.

Показатели работы энергоблока ПГУ-110Т с различными типами привода компрессора

Тип привода ТНУ	Электрический	Газопоршневой
Показатели работы энергоблока ПГУ с ТНУ с электродвигателем		
Мощность электрическая брутто, кВт	111253	
Мощность электрическая нетто, кВт	103277	105239
Тепловая мощность энергоблока с ТНУ, кВт	87923	
КПД электрический брутто (физ. метод), %	79,41	
КПД электрический нетто (физ. метод), %	73,72	75,12
КИТТ, %	86,67	
Электрическая мощность собственных нужд блока (с компрессором ТНУ), кВт	7976	6015
Мощность компрессора ТНУ, кВт	1956,8	
Тепловая мощность ТНУ, Гкал/ч	3,7	
Коэффициент преобразования ТНУ	2,217	
Расход топлива на энергоблок с ТНУ без учета выравнивания по системе		
Расход топлива на энергоблок с ТНУ, м <sup>3</sup> /ч	24925,8	
Определение дополнительного расхода топлива на газопоршневой привод ТНУ		
Расход топлива на привод ТНУ, м <sup>3</sup> /ч	452,15	
Критерий суммарного расхода топлива в системе «ПГУ + ТНУ - зам. КЭС - зам. котельная»		
Дополнительный отпуск электроэнергии от замещающей КЭС, кВт	1 962	0
КПД замещающей КЭС,%	36,6	
Расход топлива на отпуск электроэнергии на замещающей КЭС, м <sup>3</sup> /ч	574,2	0
Суммарный расход топлива по системе, м <sup>3</sup> /ч	25500	25378
Годовые показатели энергоблока, рассчитанные при среднеотопительной температуре наружного воздуха		
Годовой расход топлива, м <sup>3</sup> /год	69504183	69171593
Годовой отпуск электрической мощности, МВт/год	619662	631434
Годовой отпуск тепловой мощности от энергоблока с ТНУ, Гкал/год	453601	

По критерию системного эффекта использование газопоршневого агрегата для привода компрессора ТНУ позволяет сократить затраты электроэнергии на 1,9 %, при этом годовая экономия топлива для ПГУ-110Т составит 332590 м<sup>3</sup>/год. Окончательные выводы по поводу эффективности использования газопоршневого агрегата в качестве привода ТНУ должны проводиться на основе финансово-экономических критериев расчета.

*Библиографический список*

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года.
2. Материалы сайта ЗАО «Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике» [Электронный ресурс] URL: <http://e-apbe.ru>.
3. Оценка эффективности применения тепловых насосов на ТЭС / Е.Н. Олейникова, Е.В. Макаревич, В.Д. Буров, А.А. Дудолин // Современные технологии в энергетике – основа повышения надежности, эффективности и безопасности оборудования ТЭС: Материалы специализированной научно-практической конференции молодых специалистов. М.: ОАО «ВТИ», 2012.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ УРАЛА И ТАДЖИКИСТАНА**

*Рахимова Н.М., сетевой университет СНГ<sup>1</sup>,  
Велькин В.И., УрФУ, v.i.velkin@ustu.ru*

Таджикистан расположен в самой северной части субтропической зоны земного шара. Климат Таджикистана характеризуется большими суточными и сезонными колебаниями температуры воздуха, интенсивной солнечной радиацией, сухостью воздуха и малой облачностью.

Формирование климата Таджикистана происходит в результате взаимодействия ряда факторов, обусловленных прежде всего его географическим положением, устройством поверхности, циркуляцией атмосферы и солнечной радиацией, имеющей среди них наиболее существенное значение. Особенность географического положения Таджикистана заключается в том, что он лежит вдали от открытых морей и океанов, внутри материка Евразии. Поэтому его климат континентальный: характеризуется резкими сезонными и суточными колебаниями метеорологических элементов. Сравнительно холодная зима резко переходит в дождливую весну, но последняя также быстро сменяется сухим летом, почти при полном отсутствии осадков в течение нескольких месяцев.

Благодаря уникальным природно-климатическим условиям в Таджикистане имеются большие возможности для использования возобновляемых источников энергии. Комплексное использование возобновляемых источников энергии солнца, гидроресурсов, биогаза позволит в перспективе уменьшить проблемы с энергообеспечением. Попутно улучшится состояние окружающей среды, уменьшатся выбросы парниковых газов в атмосферу, будут сохранены сотни гектаров леса.

---

<sup>1</sup> Сетевой университет СНГ, реализующий совместную образовательную программу УрФУ и Таджикского технического университета имени академика М. Осими.

Поскольку в Таджикистане большая часть населения проживает в сельской и горной местности, то децентрализация энергетики и стабильное обеспечение энергией является основой устойчивого развития сельских и горных территорий и может обеспечить рациональное использование природных ресурсов и в перспективе способствовать решению проблемы устойчивого энергоснабжения и сохранению окружающей среды.



Рис. 1. Карта Таджикистана

Таджикистан расположен между  $38^{\circ}33'$  и  $41^{\circ}05'$  северной широты и  $68^{\circ}47'$  и  $75^{\circ}14'$  восточной долготы в середине Центральной Азии. Территория Таджикистана вытянута на 700 км с запада на восток и на 350 км с севера на юг. Таджикистан граничит на западе и севере с республиками Узбекистан (910 км) и Кыргызстан (630 км), на юге с Афганистаном (1030 км), на востоке с Китаем (430 км). Общая площадь Таджикистана составляет 143,1 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 1).

Продолжительность солнечного сияния 2160-3166 часов за год, а количество солнечных дней в году колеблется от 280 до 330. Интенсивность солнечной радиации в большинстве районов республики достигает 1000 Вт/м<sup>2</sup>, а годовая сумма радиации превышает 2000 кВт/м<sup>2</sup>. Это в два раза больше, чем в средней полосе Европы, где использование солнечной энергии носит самый широкий характер.

С использованием данных по метеорологическим поверхностям и поступлению солнечной энергии, представленных на портале NASA [3], можно сравнить продолжительность солнечных и пасмурных дней в г. Душанбе (Таджикистан) с г. Екатеринбург (Россия), табл. 1, рис. 2.

Таблица 1

Солнечные и пасмурные дни в году в г. Душанбе (Таджикистан) и г. Екатеринбурге (Россия)

Место	Солнечные	Пасмурные
г. Душанбе (Таджикистан)	280-330	34-50
г. Екатеринбург (Россия)	86-100	265-280

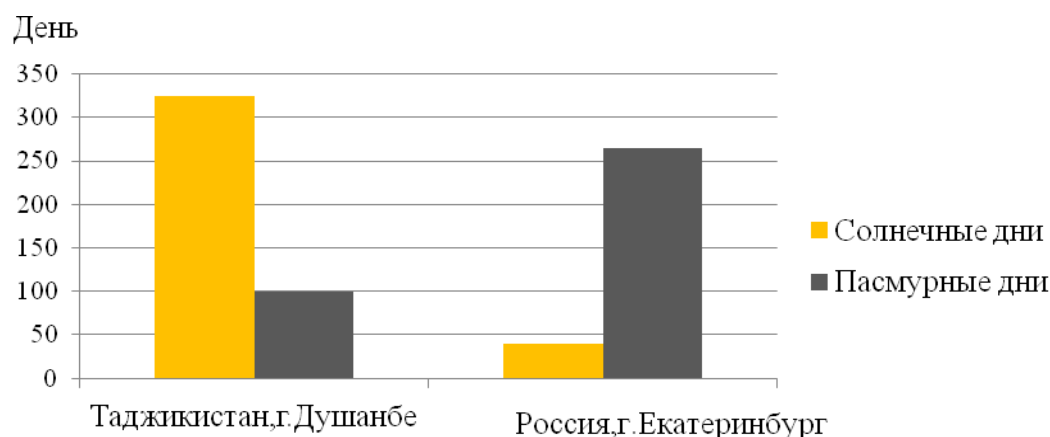


Рис. 2. Солнечные и пасмурные дни в году в г. Душанбе (Таджикистан) и в г. Екатеринбурге (Россия)

По гидроресурсам Таджикистан занимает в СНГ второе место после России и первое среди Центрально-азиатских государств. Технически возможный к использованию потенциал гидроресурсов Таджикистана оценивается величиной 144 млрд. кВт·ч в год, из которых на сегодняшний день освоены 11,5 % от технически возможного. Гидроэнергетические ресурсы некоторых государств СНГ показаны в табл. 2.

Таблица 2

Гидроэнергетические ресурсы некоторых государств СНГ

Поз.	Государство	Полный гидроэнергетический потенциал, млрд кВт·ч	Технически возможные к использованию гидроресурсы, млрд кВт·ч
1.	Россия	2785	1670
2.	Таджикистан	527	144
3.	Казахстан	163	62
4.	Кыргызстан	136	73
5.	Узбекистан	84	27
6.	Туркменистан	22	4,8

Источники:

1. Авакян А.Б. и др. Гидроэнергетические ресурсы. М.: Наука, 1967. 600 с.
2. Дж. Нурмахмадов. Гидроэнергетика Таджикистана. Ресурсы и перспективы. Душанбе, 2005. 95 с.

Потенциал возобновляемых энергоресурсов Таджикистана приведен в табл. 3. Даже частичное использование этого потенциала позволит значительно улучшить доступ сельского населения к энергоресурсам, стабилизировать энергобаланс и экологическую ситуацию в стране и Центрально-Азиатском регионе.

Ресурсы солнечной, ветровой, геотермальных источников и гидроэнергии могут быть оценены по данным Программы развития Организации Объединенных Наций (United Nations Development Programme) следующими величинами (табл. 3).

Таблица 3

Ресурсный потенциал возобновляемой энергии в Таджикистане

Ресурсы Таджикистана г. Душанбе	Солнечная энергия	Ветровая энергия	Ресурсы термальных вод	Ресурсы гидроэнергии
Валовой потенциал	1822894	62214,6	17,2	60167
Технический потенциал	1493,7	3852,7	17,2	32476
Экономически целесообразный потенциал	545,2	1926,35	17,2	32476

Эффективное использование энергии означает меньшие затраты, более эффективную экономику, сбережение ценных невозобновляемых энергоресурсов для следующих поколений и значительное улучшение состояния окружающей среды за счет снижения выбросов в атмосферу двуокиси углерода, серы и других вредных веществ.

По точным метеорологическим прогнозам, с использованием портала *NASA*, определяем погодные условия в Таджикистане, где широта г. Душанбе 38°33' и долгота 68°47' и в России для г. Екатеринбурга с широтой 56°51' и долготой 60°36', которые показаны в табл. 4, рис. 3.



Максимальной интенсивности суммарная радиация на всей территории республики Таджикистан достигает в мае-июле месяцах.

Таблица 4

Среднемесячная инсоляция на горизонтальную поверхность, кВт·ч / (м<sup>2</sup>·сут.)

Наименование	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
22-летний период (среднее) г. Душанбе (Таджикистан)	2.08	2.83	3.73	5.03	6.25	7.30	7.39	6.82	5.64	4.04	2.63	1.89
22-летний период (среднее) г. Екатеринбург (Россия)	0.68	1.52	2.93	4.38	5.05	5.70	5.30	4.01	2.65	1.43	0.84	0.48

Ин, кВт·ч/м<sup>2</sup>/сут.

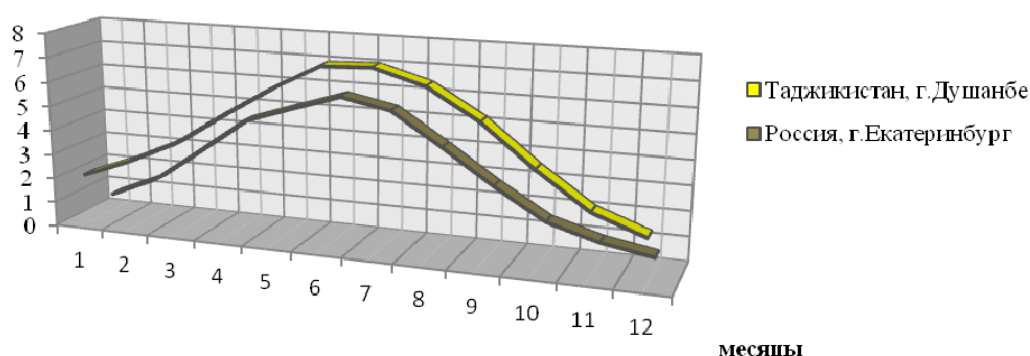


Рис. 3. Среднемесячная инсоляция на горизонтальной поверхности г. Душанбе (Таджикистан), кВт·ч / (м<sup>2</sup>·сут.)

**Вывод.** Соотношение потенциала ВИЭ и традиционных органических топлив является различным для каждой страны, зависит от природно-климатических условий и наличия ископаемых энергоносителей.

Таджикистан (как и Свердловская область) не имеет значительных запасов газа и нефти, но обладает значительным потенциалом ВИЭ.

В настоящее время необходим расчет потенциалов по каждому виду ВИЭ и определение приоритетов по их внедрению.

#### Библиографический список

1. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д. и др. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / Под ред. П.П. Безруких. СПб.: Наука, 2002.
2. Проблемы и перспективы развития возобновляемых источников энергии в Таджикистане // Мат. науч.-практ. конф. проф.-препод. состава учетно-экономич. факультета Таджикского национального университета, посвящ. дню науки (20-21 апреля 2009 года). Душанбе: Ирфон, 2009.
3. Материалы портала NASA. Поверхности метеорологии и солнечной энергии. <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&step=1&submit=Submit>

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОЛНЕЧНО-БИОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Розикзода М.А., сетевой университет СНГ<sup>2</sup>,  
Щеклеин С.Е., УрФУ

Энергетика занимает в Таджикистане особое место, являясь главной составляющей и опорой промышленного и сельскохозяйственного производства, неотъемлемой частью систем жизнеобеспечения граждан, а также образования, транспорта и телекоммуникаций.

Таджикистан обладает значительными запасами возобновляемых энергоресурсов. Базовым возобновляемым энергетическим ресурсом Таджикистана являются гидроресурсы, использование которых считается самым высокоэффективным среди всех видов возобновляемых источников энергии. Большой потенциал, низкая себестоимость гидроэлектроэнергии в Таджикистане делает ее неконкурентным источником энергии. Таджикистан благодаря своим географическим и природно-климатическим условиям является одним из подходящих регионов для широкого использования потенциала солнечной энергетики.

По точным метеорологическим прогнозам, с использованием портала NASA, определяем погодные условия в Таджикистане г. Душанбе, где широта составляет 38,34 и долгота 68,47. Удельные значения поступления солнечной энергии по метеорологическим данным NASA представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Среднемесячная инсоляция на горизонтальной поверхности г. Душанбе, кВт/м<sup>2</sup>

Широта 38.34 Долгота 68.47	Ян- варь	Фев- раль	Март	Ап- рель	Май	Июнь	Июль	Ав- густ	Сен- тябрь	Ок- тябрь	Но- ябрь	Де- кабрь
Средние значения на 06 часов	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Средние значения на 09 часов	0.04	0.07	0.15	0.25	0.36	0.43	0.41	0.34	0.27	0.18	0.09	0.04
Средние значения на 12 часов	0.28	0.36	0.45	0.57	0.71	0.81	0.81	0.78	0.69	0.55	0.39	0.28
Средние значения на 15 часов	0.28	0.38	0.45	0.56	0.63	0.72	0.75	0.74	0.65	0.48	0.33	0.26
Средние значения на 18 часов	0.05	0.01	0.15	0.22	0.28	0.35	0.38	0.33	0.21	0.01	0.04	0.03
Средние значения на 21 часов	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Средние значения на 24 часов	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

<sup>2</sup> Сетевой университет СНГ, реализующий совместную образовательную программу УрФУ и Таджикского технического университета имени академика М. Осими.

Продолжительность солнечного сияния составляет от 280 до 330 дней в году. Дни «без солнца» в Таджикистане наблюдаются редко: от 34 до 50 дней в году, и интенсивность суммарной солнечной радиации колеблется в течение года от 280 до 925 МДж/м<sup>2</sup> в предгорных районах, а также от 360 до 1120 МДж/м<sup>2</sup> в горной местности.

Максимальной интенсивности суммарная радиация на всей территории Республики Таджикистан достигает в мае-июле месяцах. Использование имеющейся солнечной энергии в Таджикистане может удовлетворить 10-20 % спроса на энергоносители.

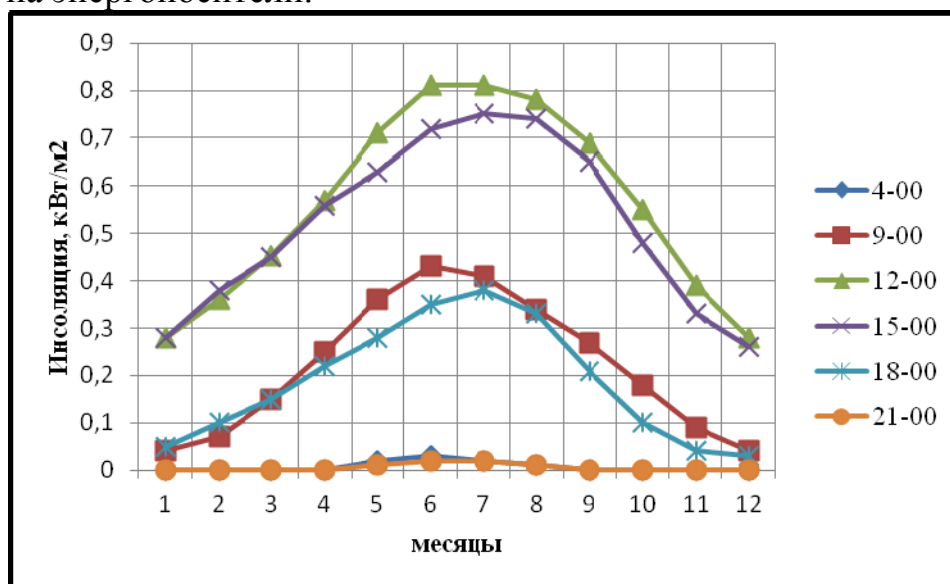


Рис. 1.  
Среднемесячная инсоляция на горизонтальной поверхности г. Душанбе, кВт/м<sup>2</sup>

Ресурсы возобновляемых источников энергии в Таджикистане значительны, эффективное их использование может составить весьма

ощутимую долю в энергетическом хозяйстве.

Таблица 2

Распределение приходов солнечной энергии по территории

Город	Январь	Февраль	Мар т	Ап-рель	Май	Июнь	Июль	Ав-густ	Сен-тябрь	Ок-тябрь	Но-ябрь	Де-кабрь
Душанбе	0.28	0.36	0.45	0.57	0.71	0.81	0.81	0.78	0.69	0.55	0.39	0.28
Вахдат	0.31	0.38	0.47	0.61	0.72	0.83	0.83	0.80	0.72	0.56	0.40	0.28
Нурек	0.31	0.38	0.47	0.61	0.72	0.83	0.83	0.80	0.72	0.56	0.40	0.28

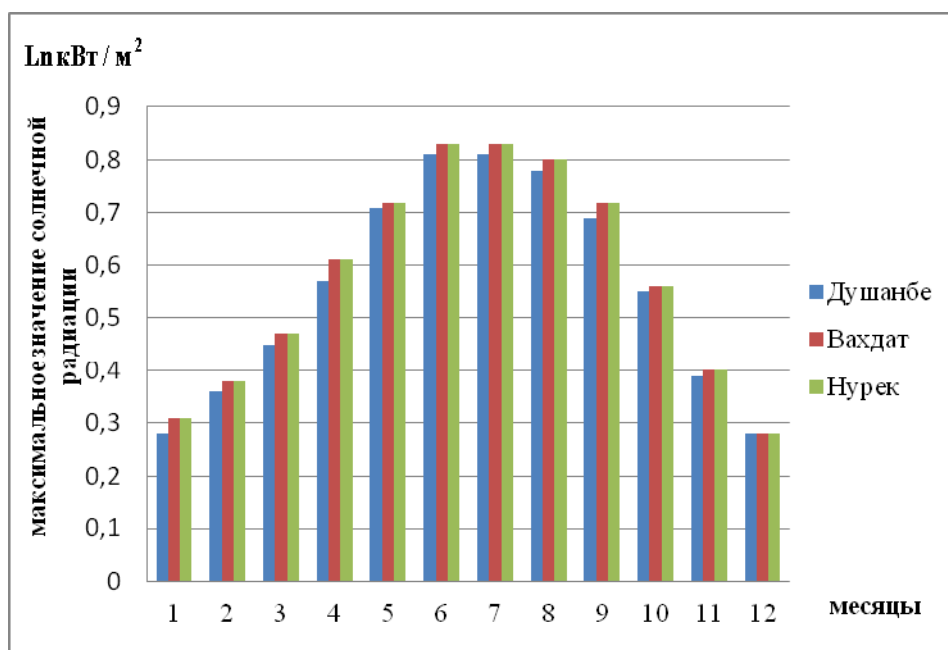


Рис. 2. Распределение приходов солнечной энергии по территории

Таджикистан – аграрная страна, поэтому есть широкие возможности использования биогаза. В большинстве развитых стран переработка органических отходов в

биогазовых установках чаще используется для производства тепловой энергии и электричества. Биомасса в Таджикистане является эффективным возобновляемым источником энергии. Ресурсы биомассы в различных видах есть почти во всех регионах, и почти в каждом из них может быть налажена её переработка в энергию и топливо. Для большинства жителей сельских районов «третьего мира» она представляет собой единственно доступный источник энергии. Таджикистан обладает потенциалом использования сельскохозяйственных отходов в качестве источника энергии, в виде биогаза из навоза крупного рогатого скота и помета птиц. Получение и использование биогаза является дополнительным способом экономии ископаемого горючего и электроэнергии. Биогаз образуется при разложении органики бактериями в анаэробных условиях. Он состоит главным образом из метана и углекислого газа.

Таблица 3

Оценка потенциала для получения биогаза государственных ферм

Вид животных	Поголовье	Отходы в год, т
Крупный рогатый скот	11115	571705
Овцы и козы	8213	28585
Итого	19328	600390

Для получения биотоплива наиболее перспективным в условиях Таджикистана является способ получения биогаза путем анаэробного брожения жидких отходов животноводства. В условиях сырости, тепла и отсутствия света анаэробные бактерии, существующие за счет разложения углеводов, вырабатывают биогаз – смесь  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ .

В небольших хозяйствах биогаз, полученный таким способом, можно применять как топливо для приготовления пищи или обогрева помещений. После получения топлива остатки навоза используются в качестве органического удобрения в полях. То же самое, можно сделать с другими отходами сельского и лесного хозяйства. Таким образом, получается, что биогазовая установка позволяет получать доходы на отходах.

Таблица 4

Относительный вклад четырех областей Таджикистана в сельскохозяйственное производство

Область	Согд, %	Хатлон, %	РРП-Центр, %	ГБАО, %	Таджикистан, %
Продукция сельского хозяйства	25	45	26	4	100
Сельскохозяйственные земли	24	33	26	17	100
Посевные площади	32	49	18	1	100
Крупный рогатый скот	27	40	26	4	100
Овцы и козы	31	39	21	8	100

**Заключение.** Структура энергетических ресурсов Таджикистана является в целом благоприятной в экологическом плане. Основу их составляют возобновляемые, экологически абсолютно чистые гидроресурсы, потенциальные возможности использования которых во много раз превышают собственные по-

требности. Возобновляемые энергоносители – солнечная, биоэнергия – это практически еще не используемые в экономике Таджикистана источники энергии. Экономические перспективы Таджикистана могут стать благоприятными, если стране удастся воспользоваться преимуществами потенциала возобновляемых источников энергии.

#### *Библиографический список*

1. Ахророва А.Д., Аманджанов Р.М., Доронкин К.А. Энергетика Таджикистана: Современные тенденции и перспективы устойчивого развития. Душанбе: ООО РИА «Статус», 2005.
2. Разыков В.А. Выявление и формализация основных экономических связей по рациональному использованию природных ресурсов в моделях региональных производственных систем. М.: Центральный экономико-математический институт Академии наук СССР, 1983.

## **ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Соляр А.Б., Голубев С.С., Трубицын К.В.  
Самарский государственный технический университет,  
tef-samgtu@yandex.ru*

Сегодня все чаще можно услышать о начале широкомасштабной кампании использования в России возобновляемых источников энергии. И одной из самых ярких представителей здесь является ветроэнергетика, которая уже успела занять свою нишу в таких экономически развитых странах, как Дания, Германия, США и т. д.

В России доля выработки электрической энергии с помощью ветроэнергетических установок (ВЭУ) составляет менее 0,01 %, в то время как, например, в Дании – 20 %.

Всего же на данный момент доля электропотребления, приходящаяся на ветроэнергетику, составляет около 3 %.

На рис. 1 представлены показатели стран на рынке ветроэнергетики в 2009 и 2011 гг., соответственно (источник: WWEA, Всемирная ветроэнергетическая ассоциация).

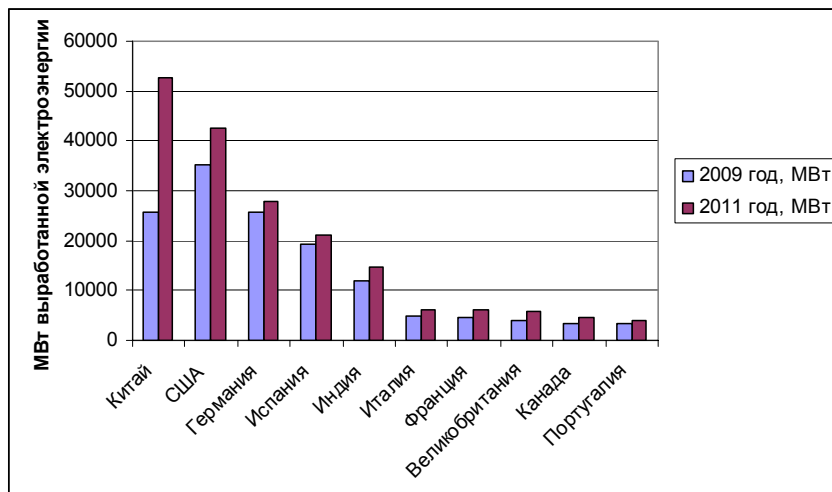


Рис. 1. Показатели стран на рынке ветроэнергетики

Как и любая другая энергетика, ветроэнергетика имеет свои преимущества и недостатки.

К преимуществам энергии ветра можно отнести:

- ветер – возобновляемый и практически неисчерпаемый источник энергии;
- энергия ветра является незагрязняющей (улучшение экологической ситуации);
- большое количество территорий для использования ветроэнергетических установок (ВЭУ);
- малые затраты на эксплуатацию ВЭУ.

Недостатками ветроэнергетики являются:

- ветер – неустойчивый источник энергии (скорость, направление);
- необходимость использования дорогостоящего оборудования;
- слабая конкурентоспособность в сравнении с традиционной энергетикой.

В своей работе мы попробуем ответить на главный вопрос: целесообразно ли использование ветроэнергетических установок в Самарской области? Здесь же мы попытаемся рассчитать ВЭУ и показать экономическую эффективность её использования (на конкретном примере).

Ветроэнергетическая установка – это комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, который предназначен для преобразования энергии ветра в другие виды энергии [1].

ВЭУ классифицируются по двум основным признакам:

- положению ветроколеса (ВК) или ротора относительно направления ветра;
- геометрии ветроколеса (ВК) или ротора.

По отношению направления ветра ВЭУ делятся на установки с горизонтальной или с вертикальной осью вращения. Наибольшее распространение получили ВЭУ с горизонтальной осью вращения (более 95 % парка ВЭУ). В установках с горизонтальной осью обычно применяются двух- и трехлопастные ВК – они отличаются плавным ходом вращения ВК, что позволяет их использовать для выработки электроэнергии.

Главным элементом ВЭУ является ветроагрегат (ВА). В свою очередь, ветроагрегат (ВА) рассматривается как система, состоящая из ветродвигателя (ВД), системы передачи мощности и приводимого ими в движение электромашиного генератора.

Ветродвигатель (ВД) – устройство для преобразования ветровой энергии в механическую энергию вращения ветроколеса (ВК), ВК – основной элемент ВД.

Система передачи мощности – комплекс устройств, для передачи мощности от вала ВК к валу электрогенератора с повышением (мультипликатор) или без повышения частоты вращения вала этой машины.

Система генерирования электроэнергии – электромашиный генератор и комплекс устройств: преобразователь, аккумулятор и т. д., дополненная панелями управления, электрическими кабелями, системой заземления, оборудованием для подключения к сети, – позволяет ВЭУ обеспечивать энергией потребителя.

Очевидно, что количество и режим выработки электроэнергии ВЭУ с учетом места ее установки зависит от энергетических характеристик ветра и конструкции ВА.

Главный энергетический показатель ВЭУ – её установленная мощность. Мощность ветрового потока определяется по следующей формуле [1]:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v^3, \quad (1)$$

где  $P$  – мощность ветрового потока [Вт];  $\rho$  – плотность воздуха (при обычных условиях принимается равной  $1,225 \text{ кг/м}^3$ );  $S$  – поперечная площадь сечения ветрового потока [ $\text{м}^2$ ];  $v$  – скорость ветра [м/с].

Если известна среднегодовая скорость ветра (и распределение скоростей ветра имеет типичный характер), то средняя мощность ветрового потока определяется из выражения:

$$P_C = 1,17 \cdot S \cdot v_C^3, \quad (2)$$

где  $P_C$  – средняя мощность ветра [Вт];  $v_C$  – средняя скорость ветра [м/с].

Определим по методике, изложенной в [2], энергетические и конструктивные параметры ВЭУ, потенциально снабжающей электрической (а при дальнейшем изучении – и тепловой) энергией структурное подразделение Самарского государственного технического университета – спортивно-оздоровительный лагерь (СОЛ) «Политехник».

Данные для расчета:

Пусть дано количество потребителей энергии в лагере –  $M_{\Pi} = 20$  жилых коттеджей. Норма выработки электроэнергии в расчете на одного потребителя  $n_{\Pi} = 3600 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  в год. Время работы ВЭУ в течение года  $\tau = 320$  суток. Средняя скорость ветра за время работы ВЭУ принимаем  $v_C = 4 \text{ м/с}$  (рис. 2). Расчетная скорость ветра, при которой обеспечивается установленная мощность ВЭУ  $v_p = 8 \dots \text{м/с}$ . Коэффициент мощности ВК  $C_p = 0,37$ . Удельные капитальные вложения в 1 кВт установленной мощности ВЭУ  $k_n^{\text{ВЭУ}} = 1000 \text{ €/кВт}$  [4].

Расчет:

Годовая потребность в электроэнергии для всех потребителей СОЛ:

$$E_{\Pi}^{\Pi} = M_{\Pi} \cdot n_{\Pi} = 20 \cdot 3600 = 72000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (3)$$

Количество электроэнергии, которое должно поступить от ВЭУ за время  $\tau$ :

$$E_C^{\text{ВЭУ}} = \frac{E_{\Pi}^{\Pi} \cdot \tau}{365} = \frac{72000 \cdot 320}{365} = 63123,29 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (4)$$

Средняя развиваемая мощность ВЭУ:

$$N_{\Pi}^{\text{ВЭУ}} = \frac{E_C^{\text{ВЭУ}}}{24 \cdot \tau \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_p} = \frac{63123,29}{24 \cdot 320 \cdot 0,95 \cdot 0,9} = 9,61 \text{ кВт}, \quad (5)$$

где  $\eta_{\Gamma}$  – принимаемый КПД генератора ( $\eta_{\Gamma} = 0,95$ );  $\eta_p$  – принимаемый КПД редуктора ( $\eta_p = 0,9$ ).

Требуемая мощность воздушного потока:

$$N_0 = \frac{N_{\Pi}^{\text{ВЭУ}}}{C_p} = \frac{9,61}{0,37} = 25,98 \text{ кВт}. \quad (6)$$

Радиус ВК (при  $1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^3$ ):

$$R = \sqrt{\frac{N_0}{1,17 \cdot \pi \cdot v_c^3}} = \sqrt{\frac{25,98 \cdot 10^3}{1,17 \cdot 3,14 \cdot 4^3}} = 10,5 \text{ м}. \quad (7)$$

«Ометаемая» площадь ВК:

$$F_{\text{ВК}} = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 10,5^2 = 346,2 \text{ м}^2. \quad (8)$$

Высота башни ВЭУ:

$$H = (1,3 \dots 1,7) \cdot D = 1,5 \cdot 21 = 31,5 \text{ м}. \quad (9)$$

Установленная мощность ВЭУ при заданной расчетной скорости ветра:

$$\begin{aligned} N_{\text{УСТ}}^{\text{ВЭУ}} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_p \cdot F_{\text{ВК}} \cdot v_p^3 \cdot 10^{-3} = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 0,37 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot 346,2 \cdot 8^3 \cdot 10^{-3} = 34,4 \text{ кВт}. \end{aligned} \quad (10)$$

Объем предотвращенной эмиссии углекислого газа, если выработка  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  электрической энергии на органическом топливе сопровождается выбросом  $0,5 \text{ кг CO}_2$ :

$$V_{\text{УГ}}^{\text{ВЭУ}} = 0,5 \cdot E_{\text{С}}^{\text{ВЭУ}} = 0,5 \cdot 63123,29 = 31561,64 \text{ кг} = 31,56 \text{ т}. \quad (11)$$

Пересчет электроэнергии, вырабатываемой ВЭУ, в тепловую энергию, если  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 860 \text{ ккал}$ :

$$Q_{\text{ВЭУ}} = E_{\text{С}}^{\text{ВЭУ}} \cdot 860 = 63123,29 \cdot 860 = 54,3 \cdot 10^6 \text{ ккал/год}. \quad (12)$$

Годовая экономия условного топлива:

$$B_{\text{ВЭУ}} = \frac{Q_{\text{ВЭУ}}}{Q_p^n \cdot \eta_{\text{ТЭС}}} = \frac{54,3 \cdot 10^6}{7000 \cdot 0,35} = 22157 \text{ кг у.т.} = 22,2 \dots \text{т у.т.}, \quad (13)$$

где  $Q_p^n$  – низшая теплота сгорания условного топлива ( $Q_p^n = 7000 \text{ ккал/кг у.т.}$ );  $\eta_{\text{ТЭС}}$  – КПД традиционной энергетической установки ( $\eta_{\text{ТЭС}} = 0,35$ ).

Общее количество работы ДЭС (дизель-генераторной установки, см. ниже):

$$t_{\text{ДОП}}^{\text{ДЭС}} = 365 - \tau = 365 - 320 = 45 \text{ сут.} = 1080 \text{ ч}. \quad (14)$$

Фактическое количество часов работы ДЭС:

$$t_{\text{ФАКТ}}^{\text{ДЭС}} = t_{\text{ДОП}}^{\text{ДЭС}} \cdot k_{\text{ИС}}^{\text{ДЭС}} = 1080 \cdot 0,8 = 864 \text{ ч}, \quad (15)$$

где  $k_{\text{ИС}}^{\text{ДЭС}} = 0,8$  – коэффициент использования установленной мощности ДЭС.

Количество электроэнергии, которое поступает от ДЭС:

$$\Delta E_{\text{С}}^{\text{ДЭС}} = E_{\text{С}}^{\Pi} - E_{\text{С}}^{\text{ВЭУ}} = 72000 - 63123,29 = 8876,7 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (16)$$



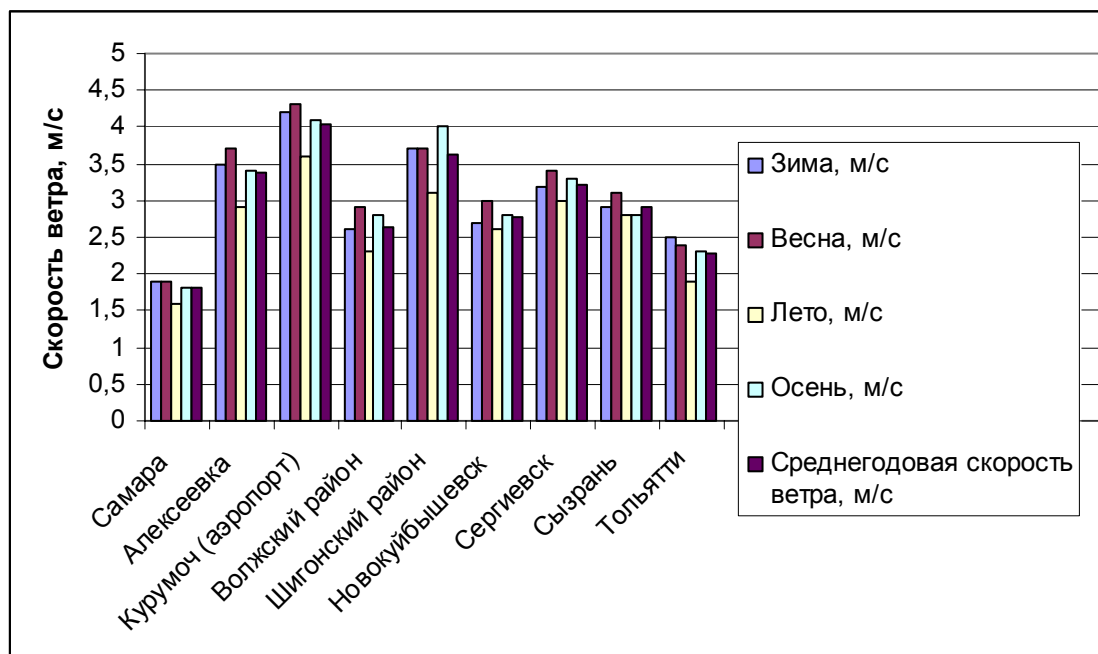


Рис. 2. Скорость ветра в некоторых населенных пунктах Самарской области

Необходимая мощность ДЭС:

$$N_{\text{ТР}}^{\text{ДЭС}} = \frac{\Delta E_{\text{С}}^{\text{ДЭС}}}{t_{\text{ФАКТ}}^{\text{ДЭС}} \cdot \eta_{\text{АКБ}}} = \frac{8876,7}{864 \cdot 0,9} = 11,4 \text{ кВт}, \quad (17)$$

где  $\eta_{\text{АКБ}} = 0,9$  – КПД аккумуляторной батареи, от которой потребитель получает электроэнергию во время остановки ДЭС на техническое обслуживание.

Оценка экономической эффективности внедрения ветроэнергетической установки в энергообеспечение (электрическая энергия) жилых коттеджей СОЛ «Политехник» согласно [2] проводится для двух вариантов:

- 1) ВЭУ + дизель-генераторная установка (ДЭС);
- 2) Электрическая энергия поступает от традиционной установки с такими же энергетическими показателями.

Основным критерием экономической эффективности использования ВЭУ в нашей работе будем считать тариф на электрическую энергию ( $k_{\text{С}}^{\text{ВЭУ}}$ ), который, в свою очередь, напрямую зависит от мировых цен на нефть.

Найдем удельный расход топлива для традиционной энергетической установки:

$$b_{\text{ТЭС}} = \frac{123}{\eta_{\text{ТЭС}}} = \frac{123}{0,35} = 351 \text{ т у.т./кВт} \cdot \text{ч} = 3,51 \cdot 10^{-4} \text{ т у.т./кВт} \cdot \text{ч}, \quad (11)$$

где 123 – теоретический эквивалент условного топлива, т у.т./кВт·ч.

Далее найдем удельную экономию затрат на топливе при первом варианте оценки экономической эффективности (ВЭУ+ДЭС):

$$\Delta C_{\text{Т}} = P_{\text{Т}} \cdot b_{\text{ТЭС}} = 12330 \cdot 3,51 \cdot 10^{-4} = 4,33 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч}, \quad (12)$$

где  $P_T = 12330$  руб. – цена тонны условного топлива (данные НК «Роснефть», март 2012 г.) [3], определяемая как  $9000$  руб. (стоимость тонны мазута)  $\cdot 1,370$  (коэффициент пересчета в условное топливо).

Удельная экономия затрат на топливе при комбинированном использовании ВЭУ и ДЭС ( $\Delta C_T$ ) рассматривается как нижняя граница тарифа на электроэнергию, которая в отсутствии ВЭУ+ДЭС была бы выработана традиционной энергоустановкой.

Полученное значение удельной экономии затрат сопоставимо со средней ценой тарифа на электроэнергию по России для организаций (4,6 руб. за 1 кВт·ч) [5].

Учитывая мировые цены на топливо, можно принять тариф  $k_C^{ВЭУ} \geq 4,5$  руб. для электроэнергии, поступающей от комбинированной ВЭУ.

В дальнейшем мы продолжим изучение ветроэнергетики Самарской области, России и мира, а также произведем необходимые расчеты для определения срока окупаемости общих капитальных вложений в проект строительства ВЭУ в городах и районах региона.

#### *Библиографический список*

1. Ветроэнергетика. Руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности. М.: ИСЦ, 2001. 62 с.
2. Серебренников Ф.В. Ветроэнергетические установки малой мощности для изолированного потребителя (обоснование и подбор) / Ф.В. Серебренников // Роль природообустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК: мат-лы Международной науч.-практ. конф. М.: Моск. гос. ун-т природообустройства, 2007.
3. Анализ руководством финансового состояния и результатов деятельности компании за 3 месяца, завершившихся 31 марта 2012 и 2011 годов, и за 3 месяца, завершившихся 31 декабря 2011 // Официальный сайт НК «Роснефть». [Электронный ресурс] URL: <http://www.rosneft.ru/> – Своб. доступ.
4. <http://www.ru.wikipedia.org/> – Своб. доступ.
5. Солнечная энергетика: возможности применения. [Электронный ресурс] URL: <http://www.solartechnologies.ru/> – Своб. доступ.

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ ТАДЖИКИСТАНА**

*Тоджиддин У. Ю., сетевой университет СНГ<sup>3</sup>,  
Щеклеин С. Е., УрФУ  
s.e.sheklein@ustu.ru*

*Новые объекты – гидроэлектростанции.* В Таджикистане ЗАО «ТАДЭС» примет участие в строительстве стратегически важных объектов: крупнейшей в Центральной Азии Рогунской ГЭС и Сангтудинской ГЭС-2.

---

<sup>3</sup> Сетевой университет СНГ, реализующий совместную образовательную программу УрФУ и Таджикского технического университета имени академика М. Осими.

*Рогунская ГЭС*, строящаяся гидроэлектростанция в Таджикистане на реке Вахш, входит в состав Вахшского каскада, являясь его верхней ступенью. Согласно проекту, она представляет собой ГЭС приплотинного типа с высотной (335 м) каменно-набросной плотиной. В случае завершения проекта, плотина ГЭС станет самой высокой в мире. Состав сооружений ГЭС:

- каменно-набросная плотина высотой 335 м из местных материалов;
- строительные и эксплуатационные тоннели;
- подземное здание ГЭС, включающее машинный зал (длина 220 м, ширина 22 м, максимальная высота 78 м) и помещение трансформаторов (200×20×40 м).

Проектная мощность ГЭС 3 600 МВт, среднегодовая выработка 13,1 млрд кВт·ч. В здании ГЭС должны быть установлены шесть радиально-осевых гидроагрегатов мощностью по 600 МВт. Плотина ГЭС должна образовать крупное Рогунское водохранилище полным объёмом 13,3 км<sup>3</sup> и полезным объёмом 10,3 км<sup>3</sup>. Водохранилище планируется использовать как в энергетических, так и в ирригационных целях на засушливых землях площадью более 300 тыс. га. Строительство ГЭС планируется осуществить в несколько этапов, мощность первой очереди должна составить 400 МВт при среднегодовой выработке 5 млрд кВт·ч.

Строительство Рогунской ГЭС было начато еще в 1976 г., но проект был заморожен после развала бывшего Советского Союза. В связи с тем, что стройплощадка на Рогунской ГЭС не была защищена, первая очередь плотины была разрушена селевым потоком, и стоимость проекта значительно возросла. Согласно ряду оценок, эта стоимость сегодня превышает 3,5 млрд долл.

Рогунская ГЭС спроектирована институтом «Средазгидропроект» (Ташкент), в настоящее время проектирование ГЭС осуществляется российским институтом «Гидропроект».

Опубликованные в прессе данные показывают, что в период с 2009 по 2011 гг. правительство Таджикистана израсходовало на проект Рогунской ГЭС около 420 млн долл. и, согласно имеющимся планам, расходы в 2012 г. могут составить еще 223 млн долл. Власти Таджикистана 3 ноября 2011 г. объявили о завершении строительства главного водосбросного туннеля Рогунской плотины, что технически теперь делает возможным приступить в любой момент к процессу перекрытия русла реки Вахш.

*Сангтудинская ГЭС-2*. Проектирование началось в 1970-х годах. Строительство станции началось в конце 1980-х годов, в начале 90-х годов работы были приостановлены из-за отсутствия финансирования и гражданской войны. В 1995 г. правительство Ирана заявило о готовности инвестировать в проект достройки ГЭС 180 млн долл. В январе 2005 г. в г. Душанбе российская, таджикская и иранская стороны подписали Протокол о достройке Сангтудинских ГЭС-1 и ГЭС-2. В соответствии с ним ГЭС-2 в полном объеме будет достроена иранской и таджикской сторонами. Подрядчиком в проекте выступает иранская компания «Сангоб». После пуска в течение 12,5 лет Сангтудинская ГЭС-2 будет считаться собственностью Ирана, после чего перейдет в собственность Таджикистана. Проектная мощность станции 220 МВт.

*Эффективность освоения гидроэнергетического потенциала малых рек в Таджикистане.* С середины семидесятых годов текущего столетия во всем мире резко возрос экономический интерес к освоению гидроэнергетического потенциала малых рек на базе строительства малых ГЭС (МГЭС). Это было обусловлено рядом факторов, но, в первую очередь, удорожанием традиционных энергоресурсов и повсеместным осознанием факта их исчерпаемости, а также достижениями научно-технического прогресса, повысившими конкурентоспособность малого гидроэнергостроительства.

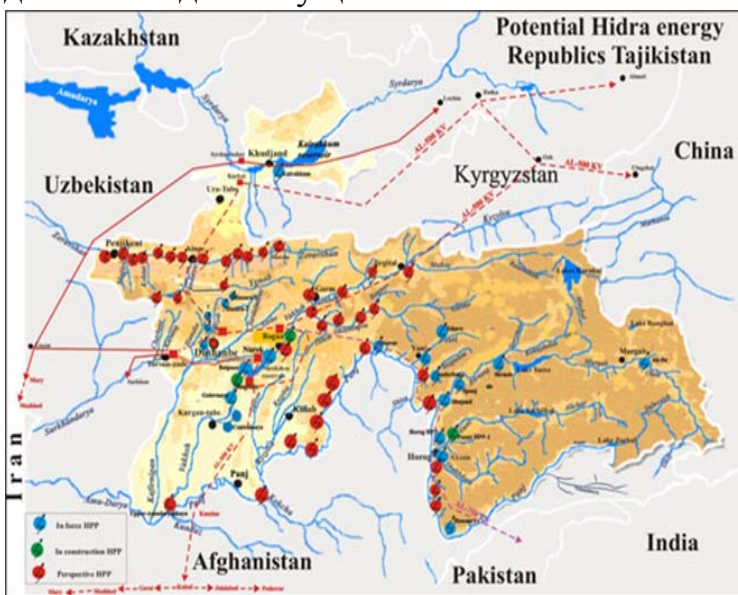


Рис. 1. Потенциал гидроэнергии Республики Таджикистан

Так, например, в настоящее время, в США из законсервированных в конце 60-х годов 2000 малых ГЭС более 1500 модернизируется и снова вводится в работу. Предусматривается новое строительство 6000 малых ГЭС с установленной мощностью 20 тыс. мВт. В Норвегии число действующих малых ГЭС достигло 500, в Австрии – 950, во Франции – 1100, в Италии – 1200, в Индии – 2000, в Китае – 90000

В настоящее время нет единого подхода к количественной оценке понятия «малая ГЭС». Наиболее часто МГЭС делят на три группы: микро-ГЭС, мощностью от десятков и сотен Вт до 50–70 кВт; мини- ГЭС, мощностью от 50–100 кВт до 500–1000 кВт и малые ГЭС мощностью от 500–1000 кВт до 5000–15000 кВт. Существуют и другие классификации малых ГЭС.

Согласно проведенным оценкам, валовой энергетический потенциал малых рек в Центрально-Азиатском регионе, исключая Казахстан, составляет 27,2 млрд кВт·ч; в том числе в Таджикистане – 14 млрд кВт·ч. Хотя следует заметить, что в определении гидроэнергетического потенциала малых рек в мире до настоящего времени нет единого подхода. Так, при оценке гидроэнергетических ресурсов бывшего СССР [2] к малым были отнесены реки, валовой потенциал которых не превышал 1,7–2 мВт. Институт «Сельэнергопроект», разрабатывая схемы малых водотоков, относил к малым рекам водотоки со среднегодовым расходом от 5 до 50 куб. м/с и длиной от 10 до 100 км.

Гидропотенциал малых рек в Таджикистане составляет 3200 мВт, или около 9,9 % валового гидропотенциала страны. Характерные величины нагрузок децентрализованных потребителей в горных районах Таджикистана составляют: 50–100 кВт; 250–350 кВт; 0,8–1,2 МВт. Для электрификации таких потребителей наиболее эффективным является строительство малых ГЭС в комбинации с ДЭС, где доля ДЭС по мощности составляет 20...40 % от мощности сис-

темы электроснабжения. В этом случае удельные капиталовложения достигают 900–1800 долл. США на кВт, а затраты на производство электроэнергии оцениваются величиной 4...9 центов за кВт·ч. В альтернативных вариантах электроснабжения строительство ДЭС или МГЭС без ДЭС, затраты на производство электроэнергии выше в 1,4–3,0 раза. Для указанного диапазона нагрузок наиболее приемлемо сооружение МГЭС деривационного типа с напорами от 10 до 50 м, экономической скоростью воды в трубопроводе 4...6 м/с, с расчетной обеспеченностью МГЭС 60...70 %.

Освоение 10 % валового гидропотенциала рек мощностью менее 25 мВт, что составит примерно 9 % современной установленной мощности электростанций республики, вполне возможное и вероятное за 15-20-летний период, позволит электрифицировать до 75 % мелких населенных пунктов и сельскохозяйственных объектов, испытывающих в настоящее время нарастающий дефицит в электроэнергии или вообще не электрифицированных.

*Формирование рынка сбыта электроэнергии.* Очередные переговоры между таджикскими и афганскими энергетиками о начале поставок таджикской электроэнергии на ту сторону Пянджа не увенчались успехом.

В энергетических ведомствах республики, афганская сторона требует гарантированных поставок электроэнергии круглый год. «В свою очередь, таджикская сторона не может гарантировать экспорт электроэнергии круглогодично по причине того, что республика сама ощущает дефицит в осенне-зимний период», – отметил источник.

По его словам, согласно ранее достигнутым договоренностям с афганской компанией Dams, переток таджикской электроэнергии в Афганистан должен был начаться 10 августа, однако этого не произошло.

Представители этой афганской компании мотивируют свои действия тем, что в случае начала поставок, таджикская электроэнергия пойдет прямо в Кабул, который в настоящее время получает электроэнергию из Узбекистана.

По словам афганской стороны, они не могут временно расторгнуть контракт с узбекскими партнерами, поставляющими электроэнергию круглый год. Кроме того, согласившись получать таджикскую электроэнергию летом, афганцам придется ограничить переток в зимний сезон, что вызовет недовольство населения Кабула.



Рис. 2. Карта-схема основных электрических сетей 220-500 кВ ОЭС Центральной Азии с перспективой до 2020 г.

По данным энергетических ведомств Таджикистана, у республики остается все меньше времени и потенциала для экспорта электроэнергии в Афганистан. В настоящее время водохранилище Нурекской ГЭС полностью заполнено, и лишняя вода сбрасывается вхолостую мимо агрегатов.

Вода в холостую выбрасывается больше, чем пропускается через турбины для выработки электроэнергии. К примеру, проточность реки Вахш в районе Нурекского водохранилища составляет 1,4 тыс. м<sup>3</sup> в секунду, в то время, когда через турбины пропускается всего 650 м<sup>3</sup> в секунду.

Специалисты утверждают, что если Таджикистан в ближайшее время не решит вопрос с экспортом электроэнергии в Афганистан, то может потерять этот рынок, а в последующем и пакистанский.

Дело в том, что Туркменистан реализует проект по строительству высоковольтной линии 500 кВ до афганской столицы. У Туркменистана проблем с экспортом электроэнергии нет.

«Представьте себе, что два богатых энергоресурсами республики Средней Азии, то есть Туркменистан и Узбекистан, постоянно и бесперебойно будут поставлять электроэнергию в Афганистан и зарекомендуют себя, как надежные поставщики. С таким успехом они могут освоить и пакистанский рынок. В данном случае даже завершение строительства Рогунской ГЭС не поможет Таджикистану войти в этот рынок», – считают эксперты.

Напомним, что согласно ранее подписанным документам в августе-сентябре текущего года в Афганистан планировалось экспортировать порядка 45 млн кВт·ч таджикской электроэнергии.

Подписанный контракт предусматривает как гарантийные, так и не гарантийные поставки электроэнергии. По гарантийному контракту Таджикистан обязуется поставить в Афганистан 20 млн кВт·ч электроэнергии в августе и 25 млн кВт·ч в сентябре. Согласно не гарантийному контракту эти цифры составляют 5 млн кВт·ч и 8 млн кВт·ч, соответственно.

По данным министерства энергетики и промышленности Таджикистана, стоимость одного киловатта таджикской электроэнергии для Афганистана составит 3,5 цента. Цена узбекской электроэнергии для Афганистана сейчас составляет 7,5 центов.

Протяженность таджикского участка ЛЭП 220 кВ Сангтуда-Пули Хумри составляет 118 километр, в Афганистане ЛЭП протягивается на 163 километр.

Проект Сангтуда-Пули Хумри призван улучшить электроснабжение, и позволит Таджикистану ежегодно в летнее время экспортировать в Афганистан до 300 МВт избыточной электроэнергии.

*Вывод.* Тяжелая ситуация с энергоснабжением страны требует не только строительство новых источников энергии, но и реализацию программ энергосбережения, повышение эффективности использования созданных энергетических мощностей. В Таджикистане эти проблемы усугубляются тем, что в структуре генерирующих мощностей наибольший удельный вес занимают гидроэлектростанции, выработка электрической энергии которыми зависит от климатических условий. Это предопределяет особую актуальность задачи повышения



эффективности использования установленной мощности существующих электрических станций.

#### *Библиографический список*

1. Гидроэнергетика СССР. М.: Гидропроект, 1951. 602 с.
2. Григорьев С.В. Потенциальные энергетические ресурсы малых рек СССР. М.: Гидрометеиздат, 1946. 124 с.
3. Гулемин Э.М. и Гордон С.М. Определение модулей стока в неизученных створах рек Таджикистана // Известия отделения естественных наук АН Таджикской ССР. 1958. Вып. 2/26.
4. Информационная служба Avesta. Tj

### **НОВЫЙ СЕНСИБИЛИЗИРУЮЩИЙ АГЕНТ ПУШПУЛЬНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ КАРБАЗОЛА ДЛЯ ЦВЕТОСЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ**

*Тесленко А.Ю.<sup>1</sup>, Иргашев Р.А.<sup>2</sup>, Вербитский Е.В.<sup>2</sup>,  
Субботина Ю.О.<sup>1,2</sup>, Русинов Г.Л.<sup>2</sup>, Чарушин В.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Химико-технологический институт УрФУ, E-mail: yu.o.subbotina@ustu.ru*

<sup>2</sup> *Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского  
УрО РАН, www.ios.uran.ru*

Среди всей совокупности возобновляемых источников энергии особое место занимает Солнце, для преобразования энергии которого активно используются различные подходы, основанные на термодинамических (тепловые), фотоэлектрических и химических методах. Энергия, получаемая таким образом, является экологически чистой, и процесс ее получения не сопряжен со значительным загрязнением окружающей среды вредными отходами.

На данный момент, сегмент солнечной энергетики является одним из крупнейших и наиболее активно развивающимся сегментом на рынке альтернативной энергетики. Огромный интерес к данной области альтернативной энергетики объясняется интересами текущего социума, заинтересованными в переходе на более экологически чистые источники энергии.

В настоящее время более 90 % мирового рынка солнечной энергетики составляют солнечные элементы на основе моно- или поликристаллических кремниевых пластин [1]. Однако производственный процесс кристаллизации и очистки кремния лимитируют данную технологию, так как они требуют значительных энергозатрат.

Весьма удачное недорогое решение для солнечного элемента было предложено Гретцелем и Рейганом [2]. Основной принцип действия органических красителей данного типа, так называемых ячеек Гретцеля, основан на сенсibilизации нанокристаллического оксида титана  $\text{TiO}_2$  посредством адсорбированных на него молекул красителя. На сегодняшний день наибольший КПД для цветосенсибилизированных (цветочувствительные) солнечных батарей дости-

гает около 12 %, тогда как КПД наиболее широко применяемых солнечных батарей второго поколения на основе кремния достигают 20 % [2, 3]. Многочисленные исследования показали, что ключевым фактором, определяющим эффективность работы ячейки, является структура красителя, так как структура определяет расположение молекулярных орбиталей, участвующих в поглощении фотонов света, относительно друг друга на энергетической шкале, а также относительно энергетического уровня проводящей зоны полупроводника.

В качестве красителей могут применяться соединения различных классов, а именно – производные индола, карбазола, и т.д. Наилучшие результаты в настоящее время были показаны рутениевыми комплексами органических гетероциклических систем. Однако цена редкоземельного элемента платиновой группы рутения и возможность нежелательного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами не позволяют вывести данный тип ячейки в крупномасштабное производство.

Органические красители пушпульного типа, состоящие из последовательно связанных донора, пи-системы и акцептора, позволяют фотоэлектрохимической ячейке достигать КПД преобразования солнечного света в электроэнергию от 8,2 до 11,1 %. Относительная легкость модификации органических соединений такого типа, огромное многообразие структур, а также моментальное изменение оптической активности в ответ на незначительные структурные модификации делают этот тип красителей перспективным для дальнейших исследований.

Нами, в результате предварительного скрининга методами компьютерного моделирования и квантовой химии, был предложен краситель на основе 5-(9-этил-9Н-карбазол-3-ил)тиофен-2-ила. Синтез красителя был осуществлен в 5 стадий, исходя из коммерчески доступного и дешевого карбазола. Так, в результате бромирования карбазола N-бромсукцинимидом был получен 3-бромкарбазол, этилирование которого этил иодидом в присутствии щелочи дало 3-бром-9-этилкарбазол. Далее бром в 3 положении карбазола по реакции каталитического кросс-сочетания Судзуки с 2-тиенилборной кислотой был заменен на тиофен-2-ильный остаток. Формилирование 3-(тиофен-2-ил)-9-этилкарбазола реагентом Вильсмайера проходило селективно в кольцо тиофена, что привело к соответствующему 5-(карбазол-3-ил)тиофен-2-карбальдегиду. И, наконец, в результате конденсации замещенного тиофен-2-карбальдегида с циануксусной кислотой был получен целевой сенсебилизирующий краситель.

Полученный сенсебилизирующий агент использовали в построении тестовой ячейки Гретцеля [4].

Сила тока и напряжение, вырабатываемые фотоэлектрохимической ячейкой под падающим ультрафиолетовым излучением, составила 5 мкА и 30 мВ соответственно, что в 4 раза превышает показатели эталона - (2-циано-3-(9-этил-9Н-карбазол-3-ил)акриловой кислоты), в тех же условиях. Использовалась лампа Spectroline EA-180/FE с длиной волны излучения  $\lambda = 365$  нм и мощностью 980 мВт/см<sup>2</sup>.





Тестовая  
фотоэлектрохимическая  
ячейка

Опираясь на данные, полученные в результате эксперимента, можно сделать вывод о том, что фотоэлектрохимическая ячейка площадью  $1 \text{ м}^2$ , использующая в качестве сенсibiliзирующего агента синтезированный нами краситель, будет давать напряжение в 300 В и силу тока в 50 мА.

Все квантово-химические расчеты были произведены на суперкомпьютере Westgrid (Canada). Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-03-31574 мол\_а «Синтез и исследование сенсibiliзирующего агента высокой эффективности и стабильности для цветосенсibiliзированных солнечных батарей (ЦССБ)» и Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 8634 «Разработка эффективных методов синтеза новых органических гетероциклических систем, компонентов для солнечных батарей».

#### *Библиографический список*

1. Современные фотоэлектрические и фотохимические методы преобразования солнечной энергии / Д.Ю. Парашук, А.И. Кокорин // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2008. Т. LII. № 6. С. 107-117.
2. A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal  $\text{TiO}_2$  films / O'Regan, B.; Gratzel // M. Nature. 1991. P. 353.
3. Dye-Sensitized Solar Cells / Anders Hagfeldt, Gerrit Boschloo, Licheng Sun, Lars Kloo, Henrik Pettersson // Chem. Rev. 2010. Vol. 110. P. 6595-6663.

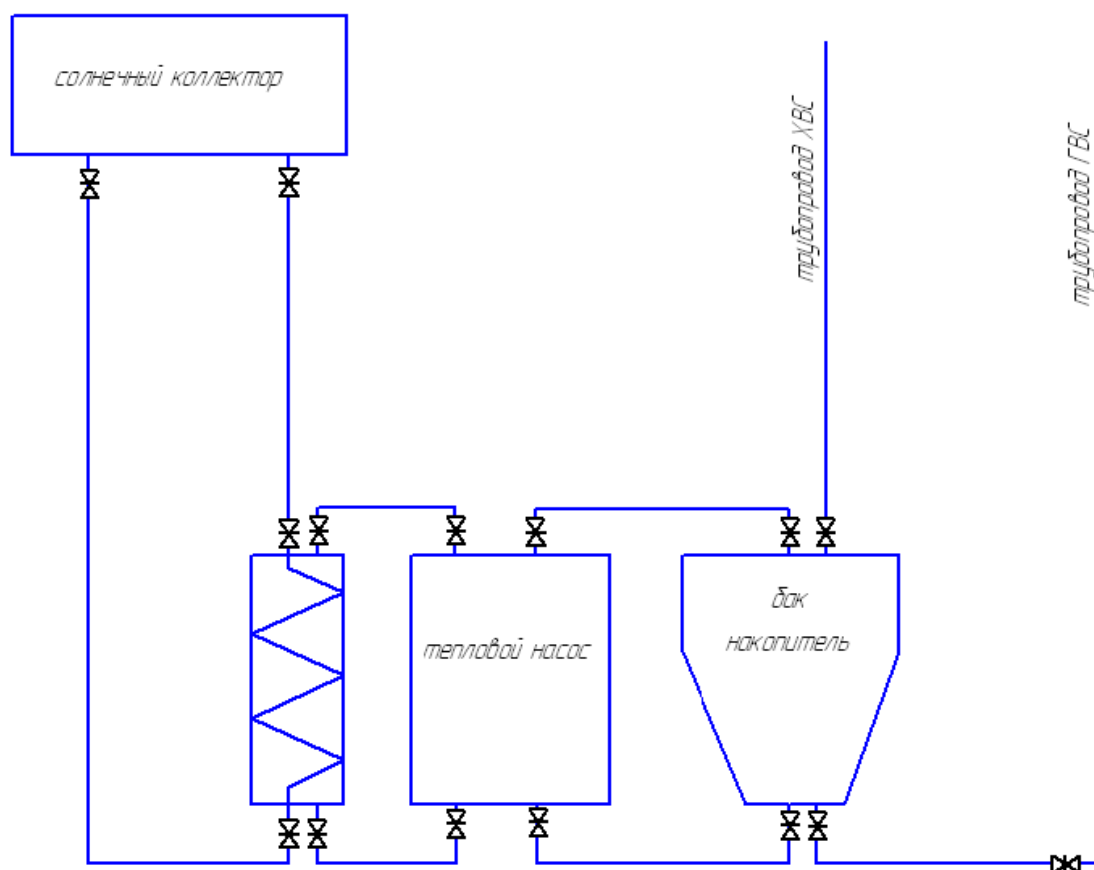
## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ**

*Тихонов В.В., Муңц В.А.  
УрФУ, V.Tikhonov@ies-holding.com*

Сегодня все чаще взоры крупных производителей и простых обывателей направляются в сторону энергосберегающих и энергоэффективных технологий. Практически 80 % тепловой энергии вырабатывается достаточно эффективными способами, АЭС и ТЭЦ. С термодинамической точки зрения комбинированное производство электроэнергии и тепловой энергии на ТЭЦ является эффективным. Но данный вид производства тепловой энергии требует развитой системы магистральных и квартальных трубопроводов для транспортировки вырабатываемого тепла. Одним из способов обеспечить теплоснабжение объекта является использование низкопотенциальной тепловой энергии. Нас окружает огромное количество тепловой энергии, проблема в том, что это тепло низкопотенциальное, т.е. имеет достаточно низкую температуру, но тем не

менее существенно отличную от 0 °С в большую сторону. Источником низкопотенциальной тепловой энергии могут являться как нетрадиционные источники энергии, так и вторичные энергетические ресурсы. В качестве последних, могут выступать: тепловая энергия, заключенная в вентиляционных сбросах, канализационных стоках или выделяемая при различных технологических процессах. Выбор нетрадиционных источников тепловой энергии поистине широк, теплоноситель здесь может быть самый различный, грунтовые воды, теплые слои водоемов, поверхностные слои грунтов, окружающий воздух. Также не стоит забывать о теплоте, заключенной в солнечной энергии. Основным плюсом данных источников низкопотенциальной тепловой энергии, является их возобновляемость. Есть и недостатки: периодичность возобновления энергии и малая температура теплоносителя.

В качестве альтернативного источника низкопотенциальной тепловой энергии было выбрано Солнце. В странах с более мягким климатом для транспортировки солнечной энергии до потребителя достаточно солнечного коллектора. Для эффективного использования солнечной энергии в условиях уральского климата было принято решение использовать солнечный коллектор совместно с тепловым насосом. Принципиальная схема установки «Солнечный коллектор – тепловой насос» (СК–ТН) показана на рисунке.



Принципиальная схема установки «Солнечный коллектор – тепловой насос»

Система СК–ТН может использоваться для обеспечения горячей водой жилых и промышленных зданий в условиях уральского климата. Эта система

содержит следующее оборудование: солнечный коллектор, тепловой насос, бак накопитель, соединенное металлопластиковой трубой так, как показано на рисунке. Система СК–ТН монтируется внутри здания на техническом этаже и использует существующую трубную разводку здания. Площадь солнечного коллектора, мощность теплового насоса, объем бака накопителя подбираются в зависимости от предполагаемого максимального разбора горячей воды и предполагаемого максимального разбора горячей воды. Система СК–ТН обеспечивает экономический эффект за счет использования энергии солнца для нагрева воды из системы холодного водоснабжения до температуры 60-65 °С.

Техническое решение этой задачи состоит в том, что на крыше здания смонтирован солнечный коллектор, специальным образом сориентированный по отношению к Солнцу для наибольшего поглощения тепла в течение светового дня, далее по трубам теплоноситель из солнечного коллектора попадает в тепловой насос, происходит нагрев воды из трубопровода холодного водоснабжения до температуры 60-65 °С, а теплоноситель направляется обратно в солнечный коллектор (происходит переход низкопотенциальной тепловой энергии в высокопотенциальную), Для поддержания постоянной температуры потребляемой горячей воды используется бак-накопитель, далее из бака-накопителя горячая вода поступает на нужды жилого или промышленного здания через существующую внутридомовую трубопроводную сеть.

Предложенная схема относится к области использования возобновляемых источников энергии.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИОГАЗОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Ткачев В.К., Бородинов Г.И., Трубицын К.В.*

*Самарский государственный технический университет, tef-samgtu@yandex.ru*

Сегодня вопросам возобновляемой и альтернативной энергетики уделяется большое внимание. «Углеродная зависимость», в которой оказались многие страны Европы и мира, включая Россию, рано или поздно должна негативно сказаться на жизни населения планеты. По оценкам ученых, запасов нефти и нефтепродуктов хватит еще на 60-70 лет. В своей работе мы рассмотрим такой альтернативный источник энергии как биогаз, попробуем проанализировать различные источники биомассы, спроектировать и создать биогазовую систему, способную решать целый комплекс вопросов современной энергетики.

Биогаз представляет собой бесцветный горючий газ, получающийся из биомассы и органических отходов в результате ферментации.

В качестве источника получения биогаза будем рассматривать продукт отходов крупно-рогатого скота и свиноводства – навоз. Объем получаемого биогаза из 1 тонны такого навоза должен составить 30-50 м<sup>3</sup> при выходе метана (СН<sub>4</sub>), равном 60-65 %.

Примерное время сбраживания навоза составляет 30-40 дней при температуре 30-32 °С. Нижняя теплотворная способность – 6,6 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

Биогазовая система должна состоять из метантенка (реактора), газгольдера, систем загрузки и выгрузки, устройства смешения, выпускного газопровода, а также дополнительных элементов системы, предназначенных для хранения газа, производства тепла и т.д. Для наиболее эффективной ферментации дополним БГС-1 устройствами теплообмена. В качестве теплоносителя используем воду, подогретую до 50-60 °С.

Схема такой системы представлена на рис. 1.

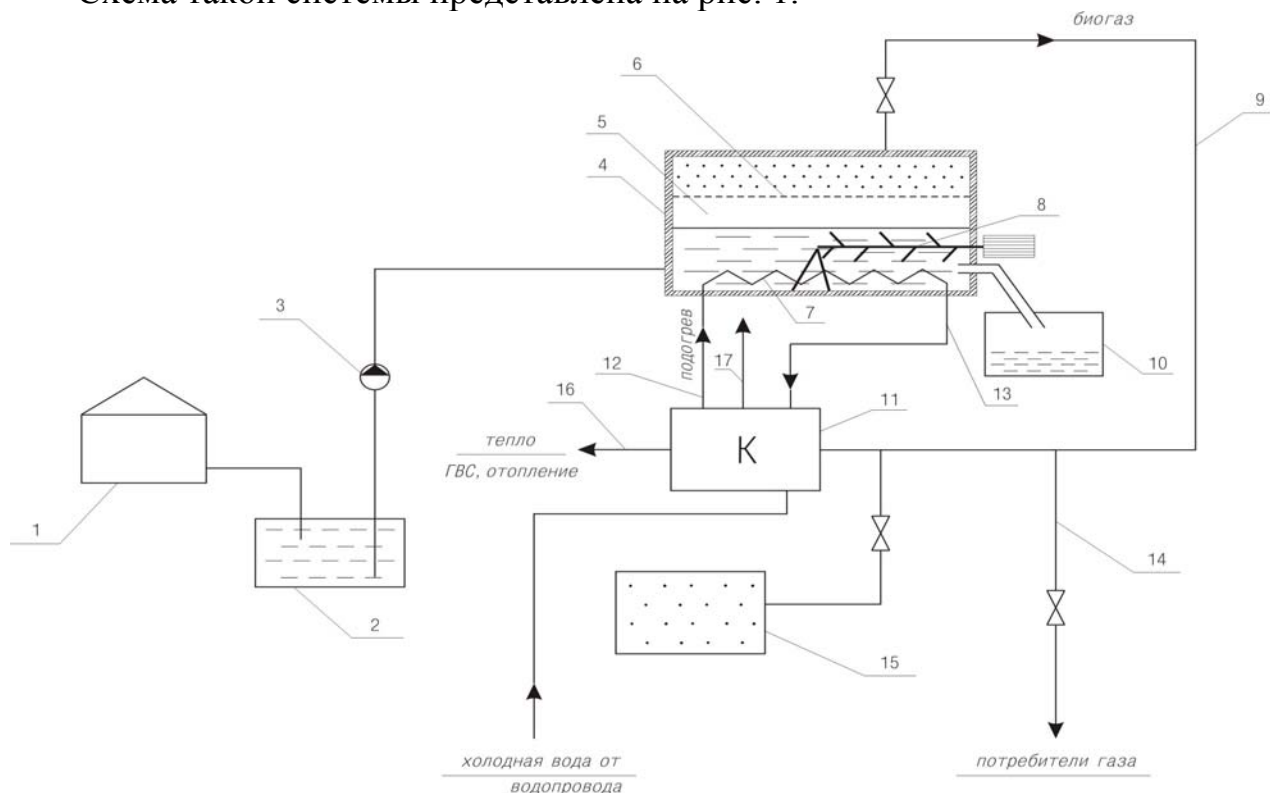


Рис. 1. Схема биогазовой системы БГС-1

1 – ферма; 2 – хранилище отходов; 3 – насос для перекачивания подготовленной биомассы; 4 – теплоизоляция; 5 – реактор (метантенк); 6 – газгольдер; 7 – теплообменники; 8 – смешивающее устройство; 9 – выпускной газопровод; 10 – специальный резервуар для концентрированных органических удобрений; 11 – водогрейный котел; 12 – прямой трубопровод, предназначенный для подогрева реактора; 13 – обратный трубопровод; 14 – отпуск биогаза потребителям; 15 – газохранилище; 16 – отпуск тепла (горячей воды) на ГВС и отопление; 17 – выход уходящих газов

Отходы сельскохозяйственных предприятий (навоз) поступают непосредственно с фермы 1 в специальное хранилище 2, откуда с помощью насоса 3 попадают в реактор (метантенк, ферментационная камера) 5. Перед тем, как попасть через систему загрузки в метантенк, навозные стоки смешиваются с необходимым количеством воды, в результате чего мы получаем жидкую однородную массу с нужным количеством сухого вещества. Данная операция необходима для увеличения интенсивности сбраживания.

Полученный в системе БГС-1 биогаз с легкостью найдет применение в различных отраслях народного хозяйства [1].

Схема использования биогаза, полученного из навоза, представлена на рис. 2.

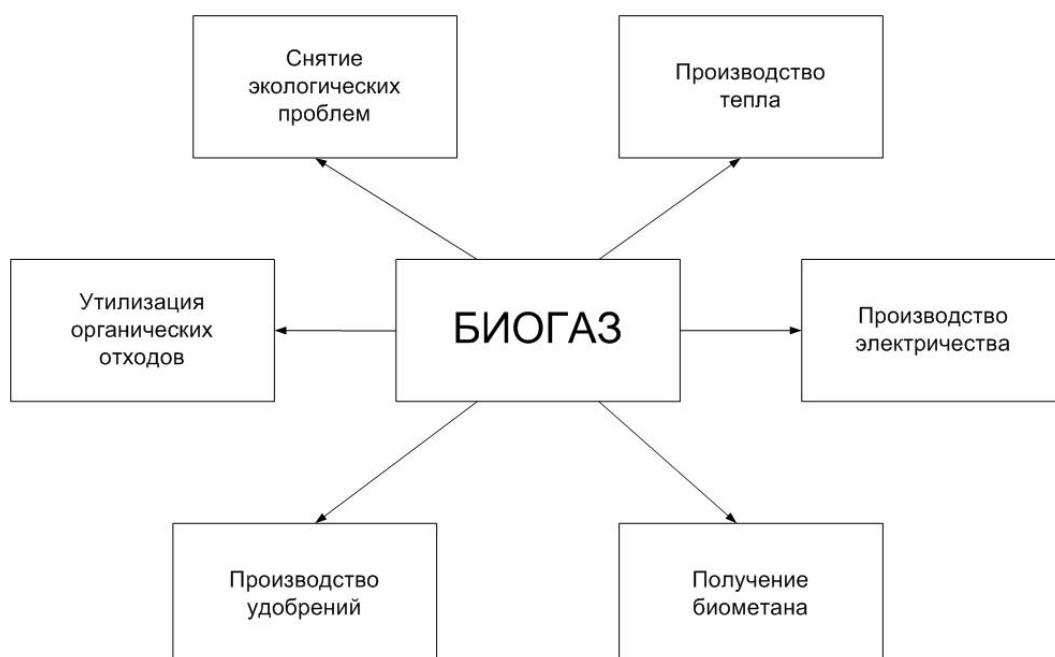


Рис. 2. Схема использования биогаза

При дальнейшем исследовании изучаемой тематики особое внимание мы уделим изучению термодинамики анаэробного сбраживания (ферментации), вопросам применения биогаза в различных двигателях (например, в двигателе Стирлинга), усовершенствованию спроектированной БГС. Немаловажной задачей считаем возможность гибкого использования установки при изменяющемся объеме сырья.

#### *Библиографический список*

1. Ткачев В.К., Куличков А.С., Бородин Г.И., Трубицын К.В. Биогазовая система для предприятий сельского хозяйства Самарской области // Теплофизические основы энергетических технологий: сб. науч. трудов III Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: Изд-во Экспресс; Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. С. 272–275.

## **ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ДЛЯ Г. ОРСКА**

*Фазлиахметова М.Ф., Лукьянова К.С.*

*Орский гуманитарно-технологический институт, г. Орск*

*Kiss.kris@mail.ru*

Уровень загрязнения атмосферы Орска характеризуется как не самый благоприятный на территории Оренбургской области. На долю предприятий приходится около 35 процентов от всего объема валовых выбросов в целом по области. Один из способов улучшения экологической обстановки в городе Орске – использование потенциала нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Авторами был проведен анализ возможности использования альтернативных источников энергии – солнечной, ветровой, геотермальной, энергии биомассы в городе Орске.

### Энергия Солнца

Произведем расчет количества энергии, которую можно получить, используя солнечные ресурсы нашего города на основании [1]:

- на горизонтальной поверхности можно снять

$$W = 2,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \cdot 365 = 1058,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год});$$

- на вертикальной поверхности

$$W = 3,1579 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \cdot 365 = 1152,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год});$$

- на наклонной поверхности

$$W = 3,899 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \cdot 365 = 1419,88 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год}).$$

Из этого следует, что больше всего солнечной энергии можно получить с наклонной поверхности, например с двухскатной крыши. Площадь Орска составляет 580,1 км<sup>2</sup>. Предположим, что 1 % от всей площади города будет занят двухскатными крышами, оборудованными солнечными батареями, т. е.  $S = 580,1 \cdot 0,01 = 5,801 \text{ км}^2$ , или  $S = 5801000 \text{ м}^2$ . Тогда энергия, которую можно получить, составит следующую величину:

$$W = 1419,88 \cdot 5801000 = 8236,724 \text{ МВт}\cdot\text{ч}/\text{год}.$$

Таким образом, мы имеем значительный потенциал энергии, которую можно использовать круглогодично.

### Энергия ветра

Как показали практика и опыт многих стран, использование энергии ветра выгодно. Во-первых, стоимость ветра равна нулю, а во-вторых, электроэнергия получается из абсолютно экологически чистого ресурса – энергии ветра, а не за счет сжигания углеводородного топлива. Ветрогенератор мощностью 1 МВт, по оценкам специалистов, сокращает ежегодные выбросы в атмосферу 1800 т CO<sub>2</sub>, 9 т SO<sub>2</sub>, 4 т оксидов азота.

Рассмотрим возможности использования энергии ветровых ресурсов в городе Орске.

По данным метеослужбы за последний год [2] нами был построен график скорости ветра. Как видно из графика, средняя скорость ветра составляет 6,3 м/с.

w, м/с

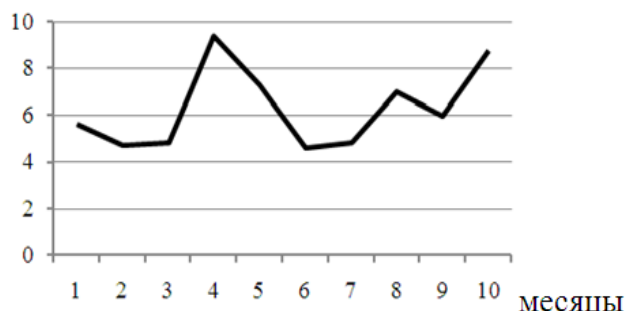


График скорости ветра

При такой средней скорости ветра подходит установка ВЭУ-10/8 [2], которая вырабатывает  $W = 2000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{месяц}$ , таким образом, на год приходится  $W = 2000 \cdot 12 = 24 \text{ МВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$ . Следовательно, чтобы получить необходимое количество энергии, нужно установить ряд ветровых установок, стоимость которых колеблется от 300 тыс. руб. до нескольких миллионов.

### Биоэнергетика

В сельскохозяйственных районах, имеющих развитое животноводство, имеются источники значительного количества биомассы, пригодной для получения дешевого, экологически чистого топлива. Новоорский район является сельскохозяйственным, граничит с Орском, расположен в степной, частично – в лесостепной зоне. Общая площадь сельскохозяйственных угодий составляет 130,13 тыс. га [2], площадь посева кукурузы – 400 га; урожайность с 1 га – 10 ц кукурузы. Выход продуктов с тонны сырья (кукуруза) [2] составляет 410 л этанола. Следовательно, с 400 га кукурузы можно получить 164000 л этанола или количество энергии, равное 49,2 МВт·ч. Следует отметить, что в близлежащих районах – Саракташском и Сакмарском также выращивают кукурузу. Урожай этих территорий аналогично можно использовать для изготовления этанола. Таким образом, при полном рациональном использовании площадей сельхозугодий можно получить количество энергии, которое в дальнейшем использовать для выработки электрической энергии, тепла, производства биогаза.

Отходы сельского хозяйства и пищевой промышленности позволяют вырабатывать энергию. Энергию из ничего. Отходами может являться птичий помет, навоз свиней, скота. В результате брожения из навоза и других биологических отходов вырабатывается биогаз.

В Гайском районе, расположенным вблизи города Орска, находится СПК «Птицефабрика Гайская», основным производством которого является выпуск высококачественного, экологически чистого яйца. Авторы рассмотрели получение биогаза из помета на примере животноводства и птицеводства.

Поголовье на СПК «Птицефабрика Гайская» – около 850 тыс. кур. Выделение экскрементов с 1 курицы составляет 0,15 кг/сутки [2], тогда за год со всего хозяйства можно получить:  $850000 \cdot 0,15 \cdot 365 = 46537500$  кг = 46537,5 т. Выход биогаза для птичьего помета по данным [2] составляет 103 м<sup>3</sup>/т. Со всего поголовья СПК «Птицефабрика Гайская» возможно получить  $46537,5 \cdot 103 = 4793362,5$  м<sup>3</sup>/год. С этого количества биогаза вырабатывается  $4793362,5 \cdot 7 = 33553537,5$  кВт·ч = 33553,5375 МВт·ч/год. (Здесь учли, что с 1 м<sup>3</sup> метана можно получить 7 кВт·ч).

Также на Птицефабрике «Гайская» содержится около 1200 голов свиней. Суточное выделение экскрементов с 1 свиньи – 5 кг [2]. Следовательно, со всего поголовья свиней за год можно получить  $1200 \cdot 5 \cdot 365 = 2190000$  кг = 2190 т. Выход биогаза для свиного навоза по другим данным в зависимости от влажности, растительного состава [2] – 62 м<sup>3</sup>/т. Из такой массы свиного навоза можно получить в перспективе  $2190 \cdot 62 = 13578$  м<sup>3</sup>/год, что составляет  $13578 \cdot 7 = 950460$  кВт·ч = 950,460 МВт·ч/год.

Потенциал возобновляемых источников энергии г. Орска

Виды энергии	Энергия, МВт·ч/год	%
Ветер	24	0,069
Солнце	8236,724	19,238
Биоэнергетика	34553,1975	80,706
Итого	42813,9215	100



Анализ расчетов проделанной работы показал, что значительным потенциалом в перспективе обладает биоэнергетика, которая в среднем на порядок превосходит все другие источники возобновляемой энергии. Кроме этого переработка отходов животноводческих хозяйств позволит уменьшить нагрузку на природу путем сокращения загрязнения почвы, сточных и паводковых вод, производя при этом биогаз.

*Библиографический список*

1. Атлас ресурсов солнечной энергии. М: ОИВТ РАН, 2010. С. 54.
2. Интернет ресурсы: [meteocenter.net](http://meteocenter.net), [www.laborant.ru](http://www.laborant.ru), <http://bio-x.ru>, [http://d-imon84.narod.ru/vetrovie\\_elektrostantsii/](http://d-imon84.narod.ru/vetrovie_elektrostantsii/), <http://www.ogk1.com/>, <http://ru.wikipedia.org/wiki/ГЭС>, <http://www.bioethanol.ru/>, [http://www.ga.orb.ru/Pticefabrika\\_Gayskaya.htm](http://www.ga.orb.ru/Pticefabrika_Gayskaya.htm), [http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=9999172](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=9999172).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРЫШНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА

*Федотов Д.А., Велькин В.И.  
УрФУ, v.i.velkin@ustu.ru*

В 20 км от Екатеринбурга реализуется проект «Энергоэффективный дом», на кровле которого в 2007 г. была смонтирована ФЭС из фотоэлектрических преобразователей пиковой мощностью ( $N_{\text{пик}}$ ) 420 Вт и напряжением 24 В (рис. 1.)



Рис. 1. ФЭС  $N_{\text{пик}}$  420 Вт на кровле  
«Энергоэффективного дома»

ФЭС выполняет следующие функции:

1. Аварийное питание автоматики газового котла.
2. Электропитание освещения территории объекта в ночное время на базе LED-светильников.

3. Зарядка аккумуляторного хозяйства, емкостью 200 А-ч, рассчитанного на потребление электроэнергии в ночное время.

Фотоэлектрическая система, предназначенная для освещения наружной территории объекта, имеет максимальную эффективность в летнее время, обеспечивает хорошие показатели зарядки АКБ в осенний и весенний периоды. В зимний период работа крышной ФЭС неэффективна, так как солнечные панели расположены под углом, повторяющем кровлю ( $15^\circ$ ) и покрываются снегом при выпадении первых осадков.

В ходе тестовых испытаний ФЭС-420 в летний период солнечного дня были достигнуты следующие показатели (измерения проводились 18.06.12 с 10 до 20 часов): напряжение холостого хода  $U_{\text{х.х.}} = 40,2$  В, рабочее напряжение  $U_p = 24,1$  В, диапазон мощности  $N = 100-220$  Вт. Схема коммутации ФЭС приведена на рис. 2.



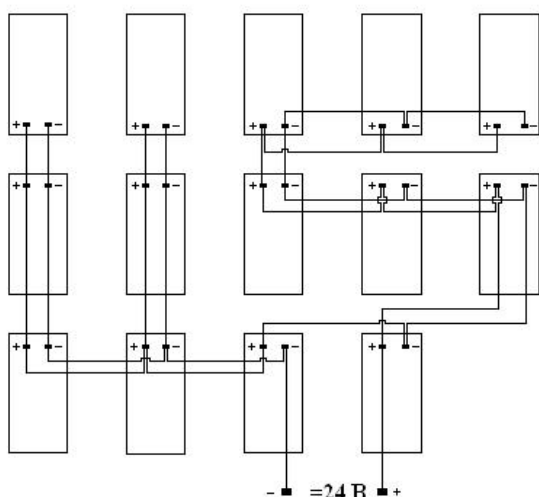


Рис 2. Схема коммутации фотоэлектрических панелей в ФЭС-420-24

Суммарная энергия, выработанная ФЭС за весенне-летне-осенний период, составила  $420 \text{ Вт} \times 180 \text{ дней} \times 8 \text{ ч}$  (в среднем) =  $604800 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 604,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ . Период снежного покрытия территории и, следовательно, полного затенения ФЭС, составил 180 дней, в течение которых покрытая снегом ФЭС не вырабатывала электроэнергию.

Контрольные ФЭС  $N_{\text{пик}} = 300 \text{ Вт}$ , расположенные на «Энергоэффективном доме» строго вертикально (рис. 3), имея неоптимальную ориентацию на Солнце (широта местности минус  $10^\circ$ ), выработали за зимний период с 1 ноября до 30 апреля (180 дней)  $243000 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$  (243 кВт·ч).

Рис. 3. Вертикальное расположение ФЭС на «Энергоэффективном доме»



Таким образом, для стационарных ФЭП на территориях РФ, покрываемых снегом, для повышения годового КИУМ должно быть предусмотрено строго вертикальное расположение.

## ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЛОСКИХ И ВАКУУМНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

*Филипенко А.А., Велькин В.И.*

*УрФУ, e-mail: filipenko91@gmail.com*

Сокращение запасов органического топлива и, как результат, увеличение его стоимости обуславливает возрастание объемов использования возобновляемых источников энергии и, в первую очередь, солнечной энергии. В мире эксплуатируется около 100 млн.  $\text{м}^2$  солнечных водонагревательных установок, а в России лишь 0,1 млн.  $\text{м}^2$ . При этом условия солнечной радиации регионов нашей страны позволяют на порядок увеличить площади таких установок.

Наибольшее распространение солнечные водонагреватели в России получили в Краснодарском крае [1] (65 станций общей площадью  $6300 \text{ м}^2$ ) и в Бурятии (60 станций общей площадью  $2600 \text{ м}^2$ ). По данным д.т.н., профессора Бутузова В.А. являющегося ведущим специалистов в РФ по солнечной энергетике, потенциальный российский рынок гелиоустановок оценивается в 10-12 млн.  $\text{м}^2$ . В настоящее время отсутствуют: государственное управление, законодательная база, нормы проектирования гелиоустановок.

В Уральском регионе, а именно в Свердловской области, климатические условия более суровы (ГСОП 6000), чем в Краснодарском крае, где ГСОП (градус-сутки отопительного периода) – 3000. Поэтому применение солнечных коллекторов плоского типа возможно только для летнего периода года на ГВС. Для решения задач не только обеспечения горячего водоснабжения, но и отопления необходимо иметь высокие температуры и возможность работать в зимних условиях, а также в облачную погоду.

В большей степени удовлетворяющим этим требованиям решением является система вакуумных коллекторов с тепловыми трубками. Теплопередача от тепловых трубок является более эффективной и позволяет установке работать в широком диапазоне погодных условий.



Рис. 1. Плоский солнечный коллектор CFK-1

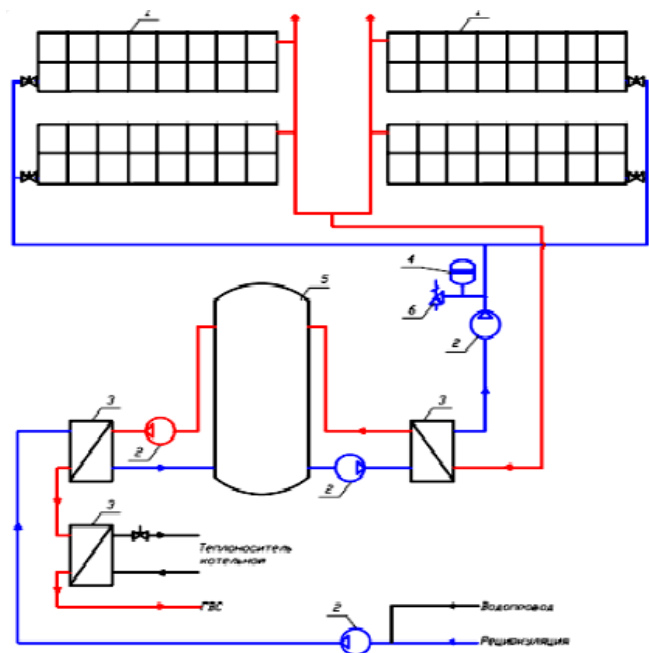


Рис. 2. Принципиальная схема

1 – солнечные коллекторы, 2 – насосы, 3 – тепло-обменные аппараты, 4 – буферный бак, 5 – бак-аккумулятор, 6 – предохранительный клапан

Выбор типа установки определяется с учетом климатических условий.

Одна из последних установок в Краснодарском крае – гелиоустановка объектов МУЗ «Центральная районная больница», г. Усть-Лабинск. Гелиоустановка (ГУ) разработана ООО «Теплопроектстрой» и смонтирована ОАО «Южгеотепло» в 2011г. Основана на использовании солнечных плоских коллекторов (рис. 1).

Схема работы ГУ – трехконтурная (рис. 2). Теплоноситель первого контура – антифриз ANRO (Wolf). Во втором контуре установлен буферный бак вместимостью 20 м<sup>3</sup>, размещенный в 170 м от гелиополя, рядом с существующей котельной и с модулем вспомогательного оборудования ГУ. В третьем контуре водопроводная вода нагревается теплом промежуточного контура и при необходимости в зимнее время догревается теплоносителем существующей котельной. Оборудование ГУ размещено в отдельном металлическом модуле каркасного типа размерами 3х6м: пластинчатые теплообменники фирмы «Alfa Laval» (Швеция), насосы фирмы «Wilo» (Германия), мембранные баки Wester (Россия).

На базе УрФУ была создана экспериментальная установка с вакуумными трубками для исследований эффективности использования солнечной энергии в Уральском регионе. Получены экспериментальные данные эффективности системы производства тепловой энергии для условий резко континентального климата, характерного для Урало-Сибирской климатической зоны. В ходе исследований определились приходы солнечной радиации, изменение тепловых характеристик элементов установки; определялась энергетическая производительность и эффективность установки.

В условиях умеренных широт и холодного климата (при любой солнечной радиации) плоские коллекторы будут нести значительные тепловые потери, обусловленные прежде всего конвекцией, а слой вакуума в трубчатом коллекторе позволяет сохранить полученную тепловую энергию. С технологической точки зрения процесс из-



Рис. 3. Вакуумный солнечный коллектор

готовления вакуумных солнечных коллекторов является более сложным и, соответственно, более дорогим в сравнении с плоскими системами.

В апреле 2012 г. была разработана и смонтирована схема с использованием системы солнечных вакуумных коллекторов на 10-этажном многоквартирном доме в Екатеринбурге. Схема ГУ – двухконтурная.

#### *Библиографический список*

1. Бутузов В.В., Брянцева Е.В., Гнатюк И.С. Гелиоустановки Краснодарского края // Промышленная энергетика. 2011. № 7.
2. Бутузов В.А. Перспективы солнечного теплоснабжения // Энергосбережение. 2006. № 7
3. Концепция развития и использования возможностей малой и нетрадиционной энергетики в энергетическом балансе России. М.: Министерство топлива и энергетики РФ, 1994.
4. Бутузов В.А., Шетов В.Х. Гелиоэнергетические установки в России // Альтернативная энергетика и экология. 2008. № 4.
5. Амерханов Р.А., Богдан А.В., Бутузов В.В. Перспективы развития энергетики Краснодарского края при использовании возобновляемых источников энергии // Энергосбережение и водоподготовка. № 3. 2005.

## **ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ДОМА С ПОДСОБНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

*Черных А.М., Плотников Д.А.*

*Ижевский государственный технический университет*

*alex250191@yandex.ru*

Актуальность разработки и использования технологий, повышающих энергоэффективность зданий и сооружений, а также способов получения энергии от

возобновляемых источников энергии неуклонно растет, так как происходит истощение запасов невозобновляемых источников энергии, растут цены на ископаемое органическое топливо, неэффективно используются энергоресурсы.

Задача повышения энергетической эффективности была поставлена в России в конце 2009 г. Был подписан Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...», который, в частности, устанавливает и требования по энергетической эффективности новых зданий, строений и сооружений.

Приоритетным направлением является повышение энергоэффективности и энергонезависимости индивидуальных жилых домов. И при этом не потребуются подключение дома к ряду основных инженерных коммуникаций, будут эффективно использоваться энергоресурсы, получаемые с использованием возобновляемых источников энергии. Также будет снижаться теплопотребление, экономиться значительная часть средств, необходимых для теплоснабжения, подогрева воды, и других элементов обеспечения климатического режима в доме, будет устанавливаться минимальный уровень электропотребления и практически исключаться вредные выбросы в атмосферу. Актуальность данного направления подтверждается многочисленными исследованиями ученых Российской Федерации, например [1].

В связи с этим встает ряд задач для разработки проекта энергоэффективного и энергонезависимого дома:

- исследовать современное состояние вопроса по энергоэффективности жилых зданий и основные принципы по ее повышению;
- обосновать применительно к выбранному типу здания объемно-планировочные и конструктивные решения, способствующие повышению энергоэффективности, качества функционирования и экономичности;
- провести обоснования и исследования комплекса технических систем, способствующих реализации энергосберегающих технологий;
- систематизировать оптимальные энергосберегающие мероприятия.

Для реализации поставленных задач предполагается максимально широкое использование альтернативных возобновляемых источников энергии, и соответственно рациональное потребление вырабатываемых с их помощью энергоресурсов. Предусматривается большую часть года обеспечивать энергоснабжение дома за счет возобновляемых источников энергии, но при этом будут подключены электроснабжение и газоснабжение для восполнения дефицита энергии в неблагоприятные дни для работы установок возобновляемых источников энергии. Для отработки технических решений проектируются две опытно-экспериментальные площадки на базе индивидуальных хозяйств в Удмуртской Республике, в с. Завьялово и с. Шаркан.

В качестве перспективных для Удмуртской Республики приняты следующие направления использования возобновляемых источников энергии:



- биогазовый комплекс;
- ветрогенератор;
- солнечные коллекторы;
- солнечные батареи.

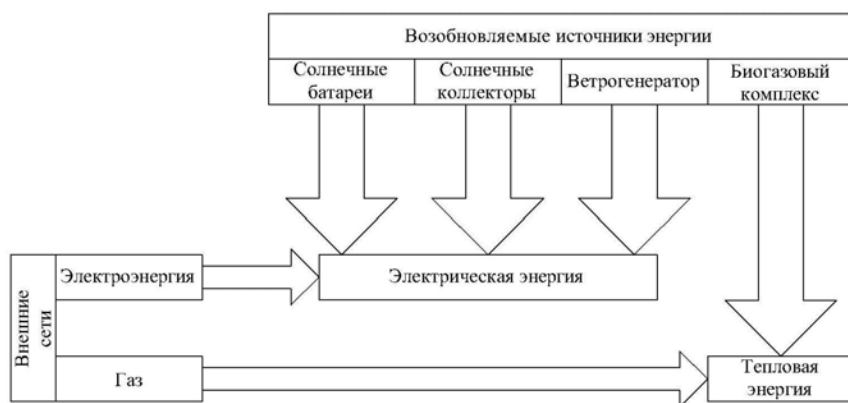


Схема энергоресурсообеспечения

Предполагается совместная работа биогазового комплекса и котельного агрегата, за счет которого и будет осуществляться выработка тепловой энергии. Работа котла предусматривается на биогазе и, частично, на природном газе от системы газоснабжения. Вырабатываемый котлоагрегатом теплоноситель будет использоваться для отопления дома и поддержания оптимальных условий работы биогазового комплекса, включающего в себя реакторы брожения и дображивания, емкости исходного и отбродившего субстрата.

Выработка электроэнергии предполагается за счет использования ветрогенератора, солнечных батарей и солнечных коллекторов, но, так как энергоснабжение от таких источников, как солнце и ветер носит нестабильный характер, будут устанавливаться также системы аккумулирования. При этом будут учитываться ориентация дома по сторонам света, ориентация и наклон кровли, окружающий ландшафт и климатические данные местности, где и предполагается реализовать данный проект.

Также предусматриваются такие ограждающие конструкции дома, которые будут в несколько раз превышать рекомендуемые в современных строительных нормах показатели теплосопротивления, т. е. будут использоваться современные материалы, предполагающие высокой уровень герметичности дома и соответственно минимальные теплопотери.

#### *Библиографический список*

1. Подолян Л.А. Энергоэффективность жилых зданий нового поколения: дис. ... канд. техн. наук / 26-й Центр. науч.-исслед. ин-т Мин-ва обороны РФ. М., 2005.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ К ИЗЛУЧЕНИЮ В ВИДИМОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА**

*Чигак А. С., Шерьязов С. К.*

*Челябинская государственная агроинженерная академия*

*sakenu@yandex.ru*

Для эффективного использования солнечных батарей (СБ) необходимо исследование параметров СБ в зависимости от влияющих факторов. При этом

важно исследовать режимы работы СБ и её чувствительность к излучению в видимой части электромагнитного спектра.

Параметры СБ исследовались путём облучения их источниками света различными спектрами излучения. Для каждого источника света вначале были определены длин волн излучения.

Для получения спектра излучения источника света и определения диапазона излучения использован специально разработанный для этой цели прибор [1], позволяющий разложить свет в спектр с сохранением достоинств и устранением недостатков известных спектральных приборов [2-4]. Экспериментальным путем подтверждена правильность измерений спектров излучения путём сопоставления с известными данными [5]. С помощью разработанного прибора определены диапазоны излучения рассматриваемых источников света: красного цвета 580...700 нм, зелёного – 460...640 нм и синего – 440...550 нм.

В ходе эксперимента исследовались параметры двух разных солнечных модулей (СМ): стеклянный с номинальной мощностью 14,62 Вт и текстолитовый – 14,79 Вт. Характеристики СБ представлены на рис. 1, 2 и 3.

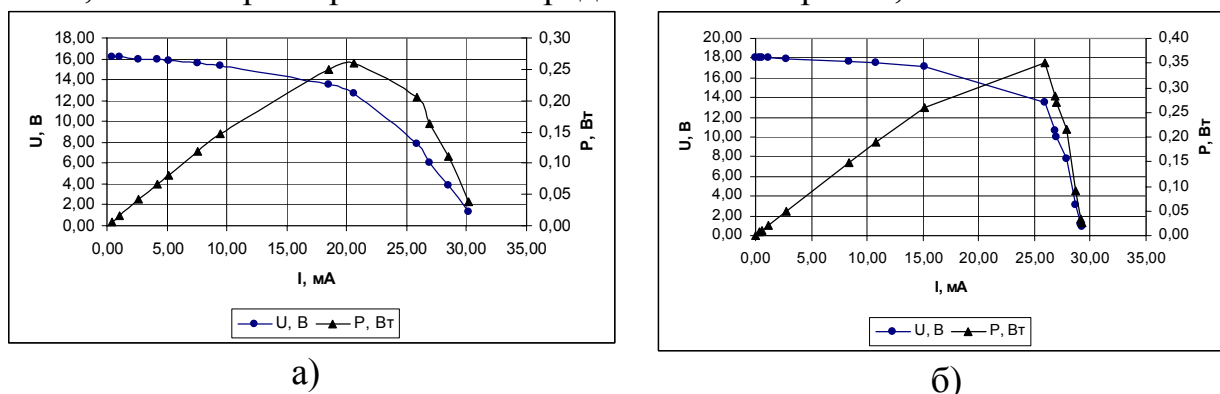


Рис. 1. Характеристики СМ при освещении красным цветом:  
а) – стеклянного СМ; б) – текстолитового СМ

Анализ графика показывает, что для стеклянного СМ ток при максимальной мощности равен 20,6 мА, а напряжение 12,65 В, и 25,9 мА при напряжении 13,5 В для текстолитового СМ. Максимальная мощность составляет для стеклянного СМ 0,26 Вт или 1,78 % от номинальной мощности и 0,35 Вт или 2,36 % от номинальной мощности для текстолитового СМ.

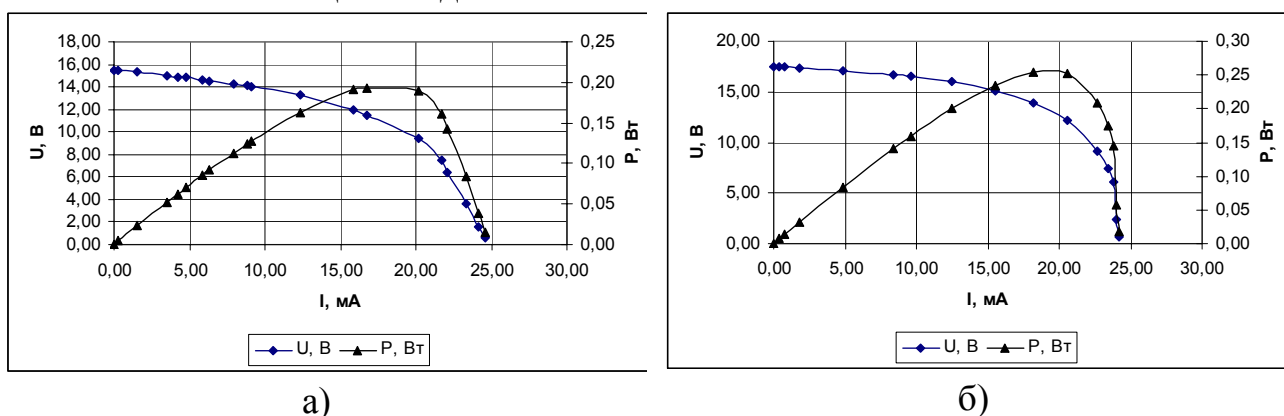
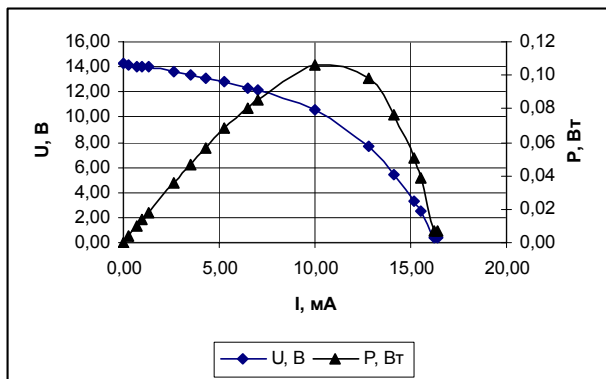
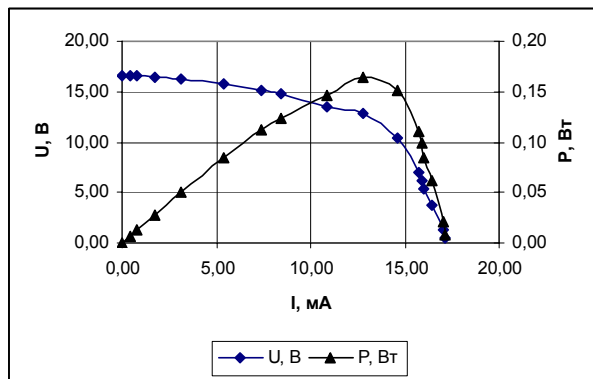


Рис. 2. Характеристики СМ при освещении зелёным цветом:  
а) – стеклянного СМ; б) – текстолитового СМ

На рис. 2 видно, что для стеклянного СМ ток при максимальной мощности равен 15,9 мА, а напряжение 12,02 В, и 20,6 мА при напряжении 12,24 В для текстолитового СМ. Максимальная мощность составляет для стеклянного СМ 0,19 Вт или 1,31 % от номинальной мощности и 0,25 Вт или 1,7 % от номинальной мощности для текстолитового СМ.



а)



б)

Рис. 3. Характеристики СМ при освещении синим цветом:

а) – стеклянного СМ; б) – текстолитового СМ

Приведённые на рис. 3 данные показывают, что для стеклянного СМ ток при максимальной мощности равен 10 мА, а напряжение 10,6 В, и 12,8 мА при напряжении 12,8 В для текстолитового СМ. Максимальная мощность составляет для стеклянного СМ 0,11 Вт или 0,73 % от номинальной мощности и 0,16 Вт или 1,11 % от номинальной мощности для текстолитового СМ.

Для сравнительного анализа результаты исследования СБ представлены на рис. 4.

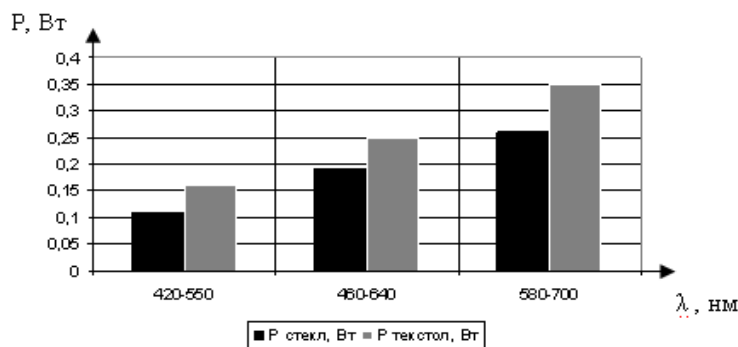


Рис. 4. Значения максимальной мощности исследуемых СМ в различных частях видимой части спектра

Анализ данных показывает, что наибольшая мощность СМ наблюдается в диапазоне 565...740 нм, т.е. в красной части спектра излучения. Для СМ зеленая часть спектра более благоприятна, чем синяя часть излучения.

Таким образом, установлены зависимости параметров СМ от длины волны излучения, на основе его светочувствительности видимой части электромагнитного излучения. Наибольшая чувствительность исследуемых СМ наблюдается в длинноволновой части электромагнитного излучения.

Полученные характеристики свойственны для всех СМ. По значениям тока и напряжения облучаемого СМ можно определить его максимальную мощность, значения которой будут разными для различных источников света. По значениям максимальной мощности можно определить, какая часть спектра даёт наибольшую мощность. Следовательно, наибольшая светочувствительность СМ будет в этой части спектра.

#### *Библиографический список*

1. Чигак А.С. Материалы LXIII студенческой научной конференции [Текст]. Челябинск: ЧГАА, 2012. 59–65 с.
2. Пат. 2290625 РФ, МПК G 01 N 21/47. Устройство для оптической спектроскопии материалов.
3. Пат. 2069323 РФ, МПК<sup>6</sup> G 01 J 3/18. Спектроскоп.
4. Пат. 2359239 РФ, МПК G 01 J 3/22. Спектральный прибор с продольным разложением света в спектр; опубл. 20.06.09.
5. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике. М.: Знак, 2006. 972 с.

## **ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ВЫХОД БИОГАЗА ПРИ АНАЭРОБНОМ СБРАЖИВАНИИ НАВОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

*Чугунов А.Д., Шеломенцев И.А, Арбузова Е.В., Щеклеин С.Е.  
УрФУ, [Ivan.shelomentsev@gmail.com](mailto:Ivan.shelomentsev@gmail.com)*

Ультразвуковое облучение ассоциируется с повреждением клеток, но доказаны и благотворные последствия озвучивания на усиление биокатализа и жизнедеятельность живых клеток.

В основе воздействия ультразвукового облучения лежит эффект ультразвуковой кавитации. Ультразвуковая кавитация – эффект, при котором пузырьки совершают пульсирующие колебания, приводящие к активной турбулизации среды, а затем часть из них схлопывается, при этом наблюдаются локальные повышения температуры, мгновенные давления и электрические заряды. Применительно к биотехнологии обеззараживания отходов животноводческих ферм в анаэробных условиях, эффект обработки ультразвуком низкой интенсивности может быть использован для увеличения выхода биогаза с единицы объема загруженного субстрата при уменьшении срока протекания процесса, в связи с разрушением цепочек органических соединений.

Разрушительный эффект ультразвука используется для обеззараживания обработанного субстрата, т.к. почти все микроскопические растения и организмы погибают, если подвергнуть их действию ультразвука высокой интенсивности, в том числе и кишечная, дифтерийная палочки, кокки, сальмонеллы и т.д.

Для подтверждения эффекта полезного воздействия ультразвука в лабораторных условиях на кафедре «Атомных станций и возобновляемых источников энергии» были проведены экспериментальные исследования.

Были заготовлены 2 пробы (влажность 92 %, температура 40 °С, объем 250 мл), одна из которых стала контрольной, а другая была подвержена ультразвуковому воздействию низкой интенсивности в течение 20 минут.



Полученные результаты приведены в таблице и отражены на рисунке.

Выход биогаза в зависимости от времени брожения

Объем биогаза, мл/250 мл	Сутки														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Контрольная проба	0	0	35	43	45	45	45	45	45	45	70	95	130	180	230
Обработка УЗ 20 мин	0	0	83	191	249										

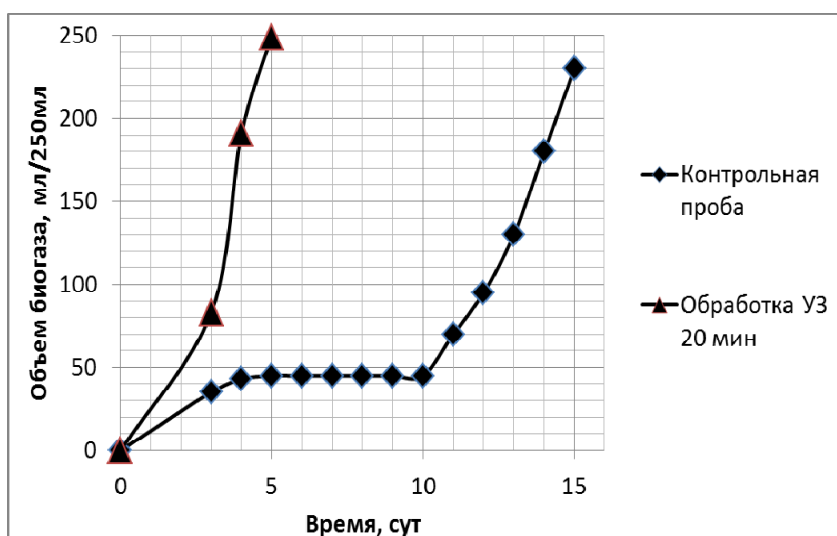


График выхода биогаза в зависимости от времени брожения

В результате анализа полученных данных, можно сделать вывод, что предварительная обработка ультразвуком субстрата КРС позволила увеличить интенсивность выхода биогаза в 3 раза.

#### Библиографический список

1. Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.В., Шалунов А.В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Бийск: Издательство Алтайского государственного технического университета имени И.И. Ползунова. 2010. 178 с.

## О ВЛИЯНИИ ПОВЫШЕНИЯ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ СИСТЕМ И ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ НА СНИЖЕНИЕ ДОЗОВЫХ ЗАТРАТ ПЕРСОНАЛА

Шарканова А.Н., Таишыков О.Л.  
УрФУ, otashlykov@list.ru

В атомной энергетике регламентируется понятие ремонтпригодности, которое является одним из свойств конструкции оборудования АЭС, характеризующим его приспособленность к проведению технического обслуживания и ремонта.

Повышение уровня ремонтпригодности систем и оборудования АЭС может быть достигнуто при условии выполнения ряда требований, основными из которых являются:

- рациональное деление оборудования на отдельные узлы, изготавливаемые с учетом возможной замены их из резервного фонда;
- легкоъемность сборочных единиц с обеспечением доступности к осмотру быстроизнашиваемых узлов и деталей;
- возможность применения грузоподъемных механизмов для демонтажа и монтажа при ремонтном обслуживании;
- возможность применения химических реагентов (щелочных и кислотных) для дезактивации всех элементов оборудования, находящихся в радиоактивной среде.

Основными показателями ремонтпригодности являются средняя оперативная продолжительность и средняя оперативная трудоемкость планового ремонта. Дополнительными показателями являются коэффициенты доступности, взаимозаменяемости, легкоъемности, унификации, стандартизации, а также показатели приспособленности оборудования к выполнению типовых работ, таких, например, как средняя оперативная продолжительность проведения операций по дезактивации оборудования при ремонте или вероятность обнаружения причины отказа за время, не превышающее заданное [1].

Вопросам повышения ремонтпригодности на энергоблоках АЭС первого поколения не уделялось должного внимания. Особенно ярко это проявилось при ремонте радиоактивных систем и оборудования. Как показывает анализ, дозозатраты на энергоблоках первой очереди Белоярской АЭС достигли максимального значения при проведении капитальных ремонтов в 1976...1978 гг. [2]. Одной из причин этого было несовершенство проектных и конструкторских решений, связанных с ремонтом радиационно-загрязненного оборудования (отсутствие приспособлений и специального инструмента, проектных решений по дезактивации контуров и оборудования, организации и проведению ремонтов оборудования в стесненных условиях и т.д.). В дальнейшем дозы снизились (за счет комплексной дезактивации оборудования), но оставались высокими.

Появление уже в конце 1960-х годов дефектов в металле трубопроводов и сосудов приводило к остановам блоков. Следствием этого было решение о необходимости тщательного контроля за состоянием металла в течение всего срока эксплуатации энергоблоков. Первые обследования металла в 1972 г. выявили значительное количество дефектов, развитие которых могло бы привести к серьезным последствиям. При этом стало ясно, что без специальных средств, в том числе дистанционных и автоматических, в условиях атомной станции (высокий радиационный фон, стесненность рабочего пространства), выполнить контроль металла в объеме, требуемом действующими документами, невозможно.

При разработке проектов АЭС последующих поколений был учтен опыт эксплуатации и ремонта первых энергоблоков. Однако постоянное развитие технологий ремонта, появление более совершенных образцов оборудования требуют периодического проведения анализа ремонтпригодности систем и оборудования действующих энергоблоков для возможной их модернизации и совершенствования проектов новых.

Так, особенностью реакторов БН-600 и БН-800 является интегральная компоновка, то есть все основное оборудование первого радиоактивного контура сконцентрировано в одном баке – корпусе реактора. Исключение составляет система очистки натрия первого контура, оборудование которой находится вне корпуса реактора<sup>4</sup> [2]. Арматура данной системы входит в перечень оборудования, замена которого требовалась для продления срока эксплуатации энергоблока сверх проектного. Кроме того, при проведении работ по продлению срока эксплуатации потребовалось исследование металла корпуса реактора, замена отдельного оборудования, приборов, модернизация систем и оборудования, повышение сейсмостойкости. При этом был выявлен низкий уровень ремонтпригодности, особенно в части проведения вспомогательных работ (например, демонтаж-монтаж теплоизоляции, установка лесов и подмостей). Это определило повышенные дозовые затраты при проведении этих работ. На рис. 1 приведены данные по вкладу отдельных работ на трубопроводах реакторной установки в коллективную дозу.

Для повышения ремонтпригодности строящегося энергоблока с реактором БН-800 необходимо провести анализ технических решений и внести соответствующие предложения по корректировке проекта до пуска в эксплуатацию. Одним из направлений повышения ремонтпригодности необходимо рассматривать использование быстросъемной блочной теплоизоляции, позволяющей значительно сократить трудозатраты, а при ремонте радиоактивного и дозовые затраты.

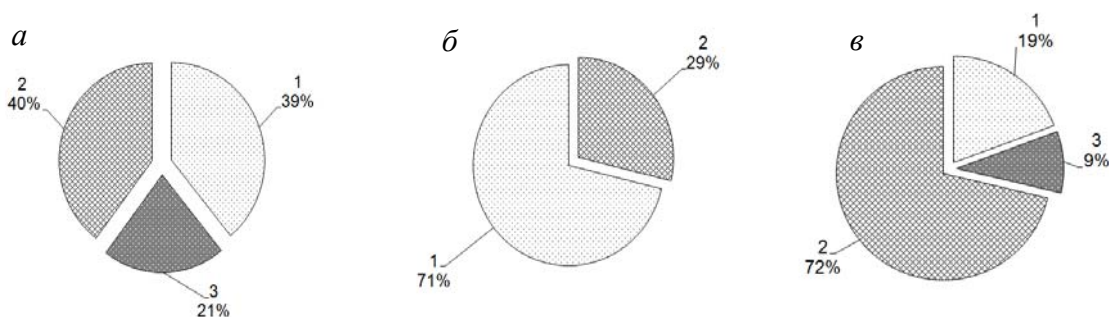


Рис. 1. Вклад отдельных видов операций в дозу облучения при работах на трубопроводах:  
а – очистки натрия первого контура; б – газового хозяйства; в – расходомерной петли;  
1 – демонтаж-монтаж теплоизоляции; 2 – ремонт, перетрассировка, замена;  
3 – эксплуатационный контроль, осмотр

#### Библиографический список

1. Ташлыков О.Л. Эксплуатация и ремонт ядерных паропроизводящих установок АЭС / О.Л. Ташлыков, А.Г. Кузнецов, О.Н. Арефьев. В 2 кн. М.: Энергоатомиздат, 1995. Кн. 2. 352 с.
2. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Булатов В.И., Шастин А.Г. О проблеме снижения дозовых затрат персонала АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2011. № 1. С. 55-60.

<sup>4</sup> На проектируемой реакторной установке БН-1200 предусмотрены новые технические решения, предполагающие размещение фильтр-ловушек первого контура в баке реактора и встроенную систему контроля качества натрия первого контура. Это приведет к исключению внешних трубопроводов с радиоактивным натрием и обслуживающих их систем.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ

**Данилов Н.И.**

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности  
российской экономики – дело молодежи..... 5

**Балдин В.Ю., Селезнева И.С., Герасимова Е.С.**

Основные итоги Всероссийской студенческой олимпиады (III тур) «Энерго- и  
ресурсосбережение», научно-практической конференции студентов, аспирантов и  
молодых ученых и выставки научно-технического творчества молодежи «Энерго-  
и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые  
источники энергии» 2011 года..... 9

**Абаимов Н.А., Змеева А.В., Филиппов П.С., Махаев А.Д.**

Методологические аспекты применения ANSYS'А  
для решения теплоэнергетических задач..... 19

**Адамык Я.А., Барышев Е.Е.**

Анализ освещенности учебных аудиторий..... 22

**Адамык Я.А., Жомайко О.С., Ушаридзе А.М., Комаров М.Д.**

Воздействие шума на энергетический потенциал человека..... 23

**Айвазов М.Д., Морданов С.В., Никулин В.А.**

Оптимизация процессов перемешивания с применением статических смесителей..... 26

**Акашкина А., Ануфриева Е.И.**

Изучение энергетических ресурсов человека. Влияние запахов..... 28

**Аловадинова Х.Н., Демин Ю.К., Матвеев С.В.**

Исследование возможности замены теплоносителя в кристаллизаторе МНЛЗ..... 30

**Антонова А.А., Лязгин А.А., Семенов В.А.**

О терминах и определениях в теплоэнергетике..... 31

**Бездетнова А.Е., Шемякина А.В., Пирумян Н.М.**

Устройства фотоники..... 34

**Бирюзова Е.А.**

Коэффициент теплопроводности как основная характеристика эффективности  
применения материала тепловой изоляции в теплоснабжении..... 37

**Близнюк Д.И., Котов О.М.**

Оценка схемной надёжности электрических систем с учётом периодов  
эксплуатации основного оборудования..... 40

**Будин О.С., Филипповский Н.Ф.**

Разработка эффективного метода сжигания рядовых углей  
в котлах с ручным забросом топлива..... 43

**Валиева Э.Р., Гордеева И.С.**

Использование теплоты раскаленного кокса с целью энергосбережения..... 44

**Вдовенко И.А., Мракин А.Н., Николаев Ю.Е., Дубинин А.Б.**

Повышение энергоэффективности при разработке  
перспективных схем теплоснабжения городов..... 46

**Ведяскин Е.В., Садртдинова Е.З.**

Исследование энергетической эффективности безокислительного нагрева лома..... 48

**Гайфутдинов А.Р., Денисенко В.И.**

Об оценке методики электромагнитного расчета вентильного индукторного двигателя..... 50

**Галиев И.Р., Ивашин П.В.**

Определение токсичных компонентов в отработавших газах газобаллонного  
автомобиля датчиком ионизации..... 52

<b>Галиев И.Р., Ивашин П.В.</b> Влияние добавки водорода в сжатый природный газ на скорость распространения пламени в первой фазе сгорания.....	54
<b>Галиев Р.Р., Косых А.Н., Лобунец О.Д.</b> О разработке электронной библиотеки решений дифференциальных уравнений.....	56
<b>Гарифуллина Г.Ф., Зимовец И.А., Потапов В.Н., Мехаяева Э.Э.</b> Новые возможности повышения независимости отпуска электроэнергии и теплоты от Ново-Свердловской ТЭЦ.....	58
<b>Гладиков А.А., Щеклеин С.Е.</b> Повышение надежности систем катодной защиты магистральных газопроводов за счет ВИЭ.....	61
<b>Горбунова А.М.</b> О влиянии размера частиц на интенсивность внешнего массообмена (массоотдачи) по высоте виброкипящего слоя в технологических процессах.....	63
<b>Горемыкина П.Г., Махмутов А.А., Ташкангузова А.А.</b> Оценка энергосберегающих эффектов от использования конвертерных газов при производстве извести.....	65
<b>Горишков Е.И., Левин Е.И., Микула В.А.</b> Опыт энергетических обследований предприятий цветной металлургии.....	67
<b>Гринёв Д.И., Шунин В.А., Королёв А.А.</b> Оптимизация энергоэффективности газоочистки третьей линии аспирации.....	69
<b>Жаранов А.В., Ртищева А.С.</b> Регулирование теплопотребления.....	71
<b>Жомайко О.С., Ануфриева Е.И.</b> Активизация энергетических ресурсов человека при прослушивании музыки.....	73
<b>Запарнюк М.Н., Нешпоренко Е.Г., Картавцев С.В.</b> Интенсивное энергосбережение в системе рудоперерабатывающего предприятия.....	76
<b>Захаров Р.В., Гордеева И.С., Матвеев С.В.</b> Исследование возможности утилизации теплоты готового проката.....	78
<b>Захаров Д.А., Родионов М.О., Коняев А.Ю., Назаров С.Л.</b> Экспериментальные исследования электродинамических сепараторов с бегущим магнитным полем.....	80
<b>Ивакина С.А., Иконников И.С., Дубинин А.М., Тупоногов В.Г.</b> Оптимизация параметров работы агрегатов диссоциации аммиака с целью экономии электроэнергии.....	83
<b>Ильин И.Н., Ртищева А.С.</b> Постановка задачи исследования энергоэффективности использования ветровых установок в условиях города Ульяновска.....	85
<b>Кадура А.П., Микула В.А.</b> Оценка возможности использования низкопотенциальной теплоты на тепловых электрических станциях.....	86
<b>Казакбаев В.М., Дмитриевский В.А., Прахт В.А., Климарев В.А., Сафин Н.Р.</b> Расширение области применения синхронного реактивного двигателя.....	88
<b>Кондратьев С.П., Данилов Н.И.</b> Особенности энергетики машиностроения.....	91
<b>Кочнева Е.С., Паздерин А.В.</b> Достоверизация измерений как задача энергосбережения.....	94
<b>Крупин Д.Ф., Суворов Д.М.</b> Сравнительная энергетическая эффективность микрогазотурбинных и газопоршневых установок при работе в когенерационных системах энергоснабжения.....	96
<b>Кузьмина Е.В., Самохин П.А., Хохлов Ю.И.</b> Гибкие энергосберегающие системы электроснабжения на основе компенсированных выпрямителей.....	99

<b>Лазуткин А.В., Беляков В.А., Носков А.С.</b> Энергосберегающие конструкции на основе стеклопластиковой арматуры периодического профиля в легких пенополистирольных бетонах.....	102
<b>Леготина А.И.</b> Преимущества и недостатки ТЭЦ.....	103
<b>Лукина Ю.Н.</b> Энергетические исследования объекта жилищно-коммунального сектора г. Гатчины...	105
<b>Малыгин И.В., Пластун А.Т.</b> Расчет электромагнитного момента синхронного двигателя в среде ANSYS.....	108
<b>Масликов П.А., Демидович В.Б., Наке Б., Никаноров А.Н.</b> Энергоэффективные инновационные технологии получения твердого состояния титановых сплавов с применением индукционного нагрева.....	111
<b>Михалан М.А., Комкова М.Г., Толстова Ю.И.</b> Оптимизация теплозащиты зданий – необходимое условие энергосбережения.....	113
<b>Мусаева Д.А., Гежа В., Наке Б., Синявин А.А., Гурьянов А.И.</b> Математическое моделирование движения расплава металла ВУДА под воздействием низкочастотных несимметричных пульсаций электромагнитного поля.....	116
<b>Мухамедеева Л.Т., Рахимбердиева Г.Р., Абрамова Э.В.</b> Методы очистки внутренних поверхностей котельного оборудования от накипи.....	119
<b>Новиков М.А., Горбунов В.А.</b> Расчет задач нагрева в пакете ANSYS 14.0 при граничных условиях первого рода в 1D и 2D постановке.....	120
<b>Носков И.Ю.</b> Оптимизация теплового режима оборудования в центрах обработки данных.....	122
<b>Осокина П.В., Мошев А.Ю.</b> Достижение энергоэффективности через систему энергоменеджмента.....	126
<b>Папченко А.И., Муниц В.А.</b> О совершенствовании технологии заполнения термосифонов.....	130
<b>Пожиганов А.Н., Ключев Р.В.</b> Исследование качества электроэнергии при производстве твердых сплавов.....	133
<b>Попов А.В., Рудой В.М., Желобецкий В.А., Останин Н.И., Алимпиев П.А.</b> Повышение энергоэффективности электрохимической защиты от коррозии.....	136
<b>Потапов И.Е.</b> Опыт и перспективы энергетических обследований объектов бюджетной сферы Свердловской области.....	138
<b>Праслова Е.А.</b> Исследование показателей качества электроэнергии при работе дуговой сталеплавильной печи.....	143
<b>Пронин В.И.</b> Оптимизация тепловых потерь в системах централизованного теплоснабжения.....	144
<b>Прошин А.С., Муниц Ю.Г.</b> Методологическое и экспериментальное исследование закономерностей образования оксидов азота при сжигании твердых топлив в кипящем слое.....	147
<b>Решетникова В.И., Попов Д.Н., Варфоломеева О.И., Хворенков Д.А.</b> Энергоэффективные варианты подогрева тяжелых жидких топлив с переменными вязкопластичными свойствами.....	150
<b>Салова Е.С.</b> Особенности перевода котлов ДКВР на газообразное топливо.....	153
<b>Самиева А.Ж., Зиганишин А.М.</b> Численный расчет потерь давления в канале с внезапным расширением.....	155
<b>Самойленко В.О., Паздерин А.В., Кокин С.Е.</b> Альтернативные сети постоянного тока для нужд городского электроснабжения.....	158
<b>Серебряков Д.В., Щелоков Я.М.</b> Об энергетике России.....	161

<b>Скворцова К.В., Грицук С.А.</b> Реализация программы энергосбережения ОАО «ЮТЭК-ЮГОРСК».....	165
<b>Скорик И.А., Голдобин Ю.М.</b> Определение оптимального среднего размера частиц полидисперсного топлива для минимизации механического недожога.....	167
<b>Слепова И.О., Борисова И.В., Демин Ю.К.</b> Энергосбережение в промышленных системах сжатия газа.....	168
<b>Сойко Г.В., Буров В.Д.</b> Метод анализа экономического окружения для сравнительного анализа энергоблоков на примере ПГУ.....	170
<b>Соколова Д.С., Демин Ю.К., Матвеев С.В.</b> Исследование возможности замены теплоносителя в охлаждающих элементах ДСП... <b>Стариков Е.В.</b> К вопросу о параметрах гиперснрядного режима кипения жидкостей в стесненных условиях.....	171
<b>Тиссен А.А., Щеклеин С.Е., Попов А.И.</b> Проблемы и перспективы применения электрического обогрева в жилищном строительстве.....	173
<b>Титова Ю., Ануфриева Е.И.</b> Изменение энергетического потенциала человека при различных эмоциях.....	176
<b>Тихонов А.В., Каблукова М.С., Агапитов Е.Б.</b> Оценка эффективности низкотемпературного подогрева лома для дуговой сталеплавильной печи.....	177
<b>Торошина Д.А., Хворенков Д.А., Варфоломеева О.И.</b> К расчету температурного поля в подземно проложенных газоходах теплогенерирующих установок.....	179
<b>Трофимова Т.В., Федотова В.С.</b> Использование низкопотенциального сбросного тепла с помощью тепловых насосов.. <b>Трофимова Т.В., Федотова В.С.</b> Безреагентные методы водоподготовки в теплоэнергетике.....	182
<b>Трубицын К.В., Елфимов С.В.</b> Интеграция вузов и предприятий теплоэнергетики с целью инновационного развития.....	184
<b>Трубицын К.В., Муранова М.М.</b> Об опыте проведения региональных олимпиад.....	186
<b>Усков А.Ю.</b> Способ управления электрообогревателями помещений с единым энергетическим вводом.....	188
<b>Ушаридзе А., Ануфриева Е.И.</b> Изучение энергетических ресурсов человека. Влияние физической нагрузки.....	190
<b>Фиш Н.А., Анников С.В., Ташлыков О.Л.</b> Повышение эффективности охлаждения натрия в трубопроводах при проведении ремонтных работ.....	192
<b>Халикова Е.Д., Давиденко И.В.</b> Анализ рисков повреждения масляных трансформаторов.....	195
<b>Хейло Д.В., Хайруллин И.А., Картавцев С.В.</b> Энергоэкологическая оценка транспортных свойств основных видов ископаемых топлив.....	197
<b>Хохлов Ю.И., Лонзингер П.В.</b> Схемные решения компенсированной системы электроснабжения сверхудаленных буровых установок с существенной величиной прочей нагрузки.....	200
<b>Худякова Г.И., Рыжков А.Ф.</b> Экспериментальные исследования сжигания низкосортных топлив.....	203
<b>Худякова Г.И.</b> Интерактивное изучение «Основ энергосбережения».....	206
	209
	212

<b>Цветкова М.С., Никитин А.С., Лопатина М.В., Гнездов Е.Н.</b> Теплотехнологическое и тепловизионное обследование туннельной печи для обжига кирпича ЗАО «Норский керамический завод».....	214
<b>Чернышова Б.А.</b> Опыт трехмерного проектирования электросетевых объектов на базе программного продукта Model Studio CS OPU в ОАО «Инженерный центр энергетики Урала».....	216
<b>Чукалин А.В., Рыбушкина О.В., Ртищева А.С.</b> Микроклимат здания с окнами повышенной герметичности.....	218
<b>Яковлев В.А.</b> Оптимизация конструкции смесеподготовительных систем щелевых ГГУ с принудительной подачей воздуха.....	220

## **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

<b>Акинфеева В.И., Мухина Е.А., Кривова С.Д., Толкачева Л.Е.</b> Ресурсосбережение в процессе получения серной кислоты в ООО «Медногорский медно-серный комбинат».....	223
<b>Альбаева И.И., Ковязина И.С., Лагунова Е.Ю., Саетова Н.С., Власова С.Г.</b> Возможность использования сырья Уральского региона в стекольном производстве...	225
<b>Аникин А.К., Remy T.Gard</b> LA CHIMIE VERTE.....	227
<b>Антипов А.С., Низов В.А., Катыхиев С.Ф.</b> Энергоэффективность производства монокромата натрия.....	229
<b>Арапова Л.Н., Нешпоренко Е.Г.</b> Влияние тепловых потерь через ограждения ВТПУ на расход первичного энергоресурса.....	230
<b>Афанасьева М.А., Ельцова И.В., Рязанова Е.А., Сорокина Е.А., Шериев А.Р., Забила Р.В., Корабельникова Д.А., Худякова Т.А., Якимова И.В., Замураев А.Е.</b> Исследование массообмена литейного песка в горизонтальном циклоне.....	234
<b>Ашуров О.Т., Гашкова В.И.</b> Получение серной кислоты из техногенного сырья на территории Республики Узбекистан.....	237
<b>Берг И.А.</b> Экспериментальная проверка влияния качества дорожного покрытия на расход топлива автомобилями.....	239
<b>Борзунова Д.О., Фомина И.В., Капустин Ф.Л.</b> Малоцементные композиции с использованием техногенных продуктов для получения безобжигового зольного гравия для конструкционных бетонов.....	242
<b>Валенцева Т.А., Царев Н.С.</b> Оценка технологических свойств осадков производственных сточных вод.....	246
<b>Ворошилова И.Г., Лазуткина О.Р.</b> Исследование структуры защитных энергоэффективных эмалевых покрытий трубопроводов.....	248
<b>Горбунёва Е.С., Пономарев М.М., Мурзадеров А.В.</b> Энергосбережение природного газа в системе химической регенерации.....	250
<b>Горшков Е.И., Жеребчиков Е.Ю., Мельников Д.М., Микула В.А., Левин Е.И.</b> Выбор альтернативного мазуту резервного топлива для ТЭС и котельных.....	253
<b>Гринёв Д.И., Кунавин С.А.</b> Газоочистная установка с утилизацией тепла при производстве катализаторов.....	255
<b>Гумирова А.Р., Ярославцева О.В., Останин Н.И., Трофимов А.А., Александров С.В.</b> Сравнительная оценка стойкости низколегированных сталей против локальной коррозии.....	257
<b>Деведжиева Т.Ч., Замураев А.Е., Дзюзер В.Я., Шишкин, С.Ф., Долматова М.О.</b> Исследование массообмена полевого шпата в горизонтальном циклоне.....	260



<b>Дерябин Д.А., Ванжина Е.С., Замураев А.Е.</b> Исследование эффективности пылеулавливания в противоточном горизонтальном циклоне.....	262
<b>Дерябин Д.А., Ванжина Е.С., Замураев А.Е.</b> Исследование сушки полевого шпата в противоточном горизонтальном циклоне.....	265
<b>Дробинин Е.И., Белоусова О.А.</b> Выбор технологической схемы изомеризации парафинов для Антипинского НПЗ.....	267
<b>Касьянова С.И., Вараева Е.А., Аксенов В.И., Ничкова И.И.</b> Реконструкция водного хозяйства горно-обогатительных комбинатов.....	269
<b>Киселева О.С., Худякова Г.И.</b> Возможность применения электросталеплавильных шлаков в строительной отрасли...	272
<b>Кочнева А.А., Новоселова М.С., Уфимцев В.М.</b> Изучение свойств вяжущего на основе электросталеплавильных шлаков.....	275
<b>Кубиков А.П., Липин А.В., Коняев И.А.</b> Электродинамический сепаратор индукторного типа для обработки мелкой фракции электронного лома.....	277
<b>Кузьмина Н.С., Якушев Н.С., Казанцев Р.О., Коняев А.Ю.</b> Характеристики электродинамических сепараторов для обработки электронного лома	280
<b>Мальцева О.В., Белоусова О.А.</b> Модернизация технологической схемы утилизации фусов на ОАО «Губахинский кокс».....	283
<b>Мирсаитова С.М., Кулакова И.С., Сергеева К.Е.</b> Применение фотовыводного полимера в производстве сувенирной продукции и ювелирных изделий.....	285
<b>Мракин А.Н.</b> Современные научно-технические проблемы сланцепереработки и пути их решения...	287
<b>Назипова Ф.В., Данилова Р.В., Сафин Р.Р.</b> Разработка технологии модификации древесного наполнителя в производстве древесно-полимерного композиционного материала.....	290
<b>Никитина А.О., Олейник К.И.</b> Расплавленные карбонаты щелочных металлов как среда для осуществления ресурсосберегающих технологий.....	293
<b>Никитин В.С., Рудой В.М., Останина Т.Н.</b> Измерение площади поверхности электролитических порошков цинка методом импедансной спектроскопии.....	295
<b>Нестерак Ю.В., Лазуткина О.Р.</b> Применение воздушнотвердеющих защитных композиций для защиты, теплоизоляции, уплотнения соединений и ремонта эмалированного оборудования.....	297
<b>Осипов А.В., Беляков В.А., Носков А.С.</b> Применение ресурсосберегающих радиационно-защитных бетонов на основе баритового заполнителя.....	300
<b>Плотников А.С., Останин Н.И.</b> Распределение тока между цинковым и стальным анодами.....	302
<b>Попова А.С., Фетисов Б.А.</b> Энергоэффективность цементных заводов ЕС.....	303
<b>Сабуров И.В., Правдин Б.А., Печнина Н.В., Демин Б.Л.</b> Кадастровая оценка земель, освобожденных из-под отвалов шлака рафинированного феррохрома.....	305
<b>Сайдали А.А., Толкачева Л.Е.</b> Ресурсосберегающая технология получения аммиачной селитры в ОАО «Невинномысский Азот».....	307
<b>Трофимов А.А., Рудой В.М., Ярославцева О.В.</b> Исследование трубных сталей на стойкость к питтинговой коррозии.....	309
<b>Тукмачев К. Ф., Чипуштанова А.М., Власова С.Г.</b> Шлаковата на основе местного сырья и отходов медеплавильного производства.....	312

<b>Черепанов М.Ю., Пономарев В.Б., Лошкарев А.Б.</b> Получение необходимого зернового состава шамотных порошков методом пневматической сепарации.....	313
<b>НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА</b>	
<b>Адиятуллина Ю.З., Попов А.И., Щеклеин С.Е.</b> Малая ветроэнергетическая установка.....	317
<b>Архипова И.Г., Диденко Е.С., Мазанкина Д.В.</b> Эволюция в биоэнергетике: водоросли – топливо будущего.....	319
<b>Архипова И.Г., Диденко Е.С., Сарачева Д.А.</b> О возможностях применения топливных элементов.....	321
<b>Банникова М.Н., Тюрина Т.А., Гревцев Н.В., Горбунов А.В.</b> Использование торфа как экологичного энергетического ресурса.....	323
<b>Барabanова Ю.А., Немихин Ю.Е., Щеклеин С.Е., Высокинская Р.В.</b> Получение альтернативного топлива RDF.....	325
<b>Батенков Д.И., Гуцин П.С., Фиш Н.А., Федоров К.Ю., Ташлыков О.Л.</b> Оптимизация демонтажа радиоактивного оборудования при выводе АЭС из эксплуатации.....	327
<b>Батенков Д.И., Климова В.А.</b> К вопросу о влиянии геометрических характеристик тяговой башни ВЭУ на скорость ветра.....	330
<b>Биргалина Г.В., Пташкина-Гирина О.С.</b> Гидравлический таран.....	333
<b>Бодрова Е.С., Нараева Р.Р.</b> Решение проблемы утилизации твердых бытовых отходов в городе Челябинске.....	335
<b>Бодылевская Т.А., Сафин Р.Р., Белякова Е.А.</b> Разработка новой технологии для улучшения теплотехнических характеристик топливных гранул.....	337
<b>Вальцева А.И., Щеклеин С.Е.</b> К вопросу о разработке конструкции ВЭУ с максимально широким диапазоном используемых скоростей ветра.....	339
<b>Головских Д.С., Козлова М.В., Журавлёв А.В., Горбунов А.В.</b> Энерготехнологическое использование торфяных ресурсов.....	342
<b>Горбунова А.А., Нараева Р.Р.</b> Комплексное использование энергии биомассы и ветра.....	344
<b>Данилов В.Ю., Филипенко А.А., Велькин В.И.</b> Использование вакуумных солнечных коллекторов для ГВС и отопления многоквартирного дома в Екатеринбурге.....	346
<b>Данилов В.Ю., Филипенко А.А., Велькин В.И.</b> Экспериментальные исследования вакуумного солнечного коллектора при отрицательных температурах.....	349
<b>Доскенов А.Х.</b> К вопросу совместного использования гелиоустановок и теплового насоса в условиях Южного Урала.....	351
<b>Загафуранова Ю.М., Немихин Ю.Е., Щеклеин С.Е., Невьянцев С.В.</b> Распределенная система мониторинга для установок возобновляемой энергетики.....	353
<b>Зайков И.А., Щеклеин С.Е., Попов А.И.</b> Бесплотинная микро-миниГЭС.....	355
<b>Зимовец И.А., Гарифуллина Г.Ф., Потапов В.Н., Мехяева Э.Э., Костюнин В.В.</b> Новый тип тепловой электростанции, использующей генерацию горючего газа из биомассы, торфа и нетоварных углей.....	358
<b>Зиятдинова А.Р., Хасанишин Р.Р., Зиятдинов Р.Р.</b> Разработка нового оборудования для производства топливных гранул из отходов растительного происхождения.....	361

<b>Игнатъев С.В., Ртищева А.С.</b> Постановка задачи исследования эффективности использования солнечных батарей в условиях города Ульяновска.....	364
<b>Князева Е.А., Ануфриев В.П.</b> Возможности энерго– и ресурсосбережения в использовании отходов птицеводства...	366
<b>Колпакова Н.В., Колпаков А.С.</b> Вихревые теплогенераторы.....	368
<b>Миронова Е.А., Непогодин А.М.</b> Получение и использование биогаза из органических отходов очистных сооружений канализации.....	371
<b>Нараева А.А., Нараева Р.Р.</b> Древесная биомасса как источник биоэнергетического сырья Челябинской области....	373
<b>Олейникова Е.Н., Дудолин А.А., Буров В.Д.</b> Повышение эффективности работы парокompрессионной теплонасосной установки в составе ПГУ утилизационного типа.....	376
<b>Рахимова Н.М., Велькин В.И.</b> Сравнительный анализ возможностей возобновляемых источников энергии Урала и Таджикистана.....	378
<b>Розикзода М.А., Щеклеин С.Е.</b> Разработка технологии солнечно-биогазового комплекса.....	382
<b>Соляр А.Б., Голубев С.С., Трубицын К.В.</b> Об эффективности использования ветроэнергетических установок в Самарской области.....	385
<b>Тоджиддин У.Ю., Щеклеин С.Е.</b> Современное состояние и перспективы развития гидроэнергетики Таджикистана.....	390
<b>Тесленко А.Ю., Иргашев Р.А., Вербитский Е.В., Субботина Ю.О., Русинов Г.Л., Чарушин В.Н.</b> Новый сенсibiliзирующий агент пушпульного типа на основе карбазола для цветосенсибилизированных солнечных батарей.....	395
<b>Тихонов В.В., Муңц В.А.</b> Использование солнечной энергии для обеспечения горячего водоснабжения жилых и промышленных зданий.....	397
<b>Ткачев В.К., Бородин Г.И., Трубицын К.В.</b> Проектирование биогазовой системы для предприятий сельского хозяйства Самарской области.....	399
<b>Фазлиахметова М.Ф., Лукьянова К.С.</b> Оценка потенциала нетрадиционных возобновляемых энергоресурсов для г. Орска...	401
<b>Федотов Д.А., Велькин В.И.</b> Исследование эффективности крышной фотоэлектрической станции в разные сезоны года.....	404
<b>Филипенко А.А., Велькин В.И.</b> Особенности функционирования плоских и вакуумных солнечных коллекторов.....	405
<b>Черных А.М., Плотников Д.А.</b> Обоснование энергосберегающих мероприятий для дома с подсобным хозяйством применительно к условиям Удмуртской Республики.....	407
<b>Чигак А.С., Шерязов С.К.</b> Исследование чувствительности солнечных батарей к излучению в видимой части электромагнитного спектра.....	409
<b>Чугунов А.Д., Шеломенцев И.А., Арбузова Е.В., Щеклеин С.Е.</b> Влияние предварительной ультразвуковой обработки на выход биогаза при анаэробном сбраживании навоза крупного рогатого скота.....	412
<b>Шарканова А.Н., Ташлыков О.Л.</b> О влиянии повышения ремонтпригодности систем и оборудования реакторных установок на быстрых нейтронах на снижение дозовых затрат персонала.....	413

## Принятые сокращения

УрФУ	– ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» или Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург
Альметьевский государственный нефтяной институт (АГНИ)	– ГБОУ ВПО «Альметьевский государственный нефтяной институт», г. Альметьевск
Вятский государственный университет, г. Киров	– ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет», г. Киров
Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина (ИГЭУ)	– ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», г. Иваново
Ижевский государственный технический университет	– ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени Калашникова»
Казанский государственный архитектурно-строительный университет	– ФГБОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»
Казанский государственный энергетический университет	– ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет»
Казанский национальный исследовательский технологический университет	– ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
Московский энергетический институт (НИУ МЭИ)	– ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (МГТУ)	– ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»
Орский гуманитарно-технологический институт	– Орский гуманитарно-технологический институт – филиал ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет»
Российский государственный профессионально-педагогический университет (РГППУ)	– ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет (РГППУ)», г. Екатеринбург
Самарский государственный технический университет (СамГТУ)	– ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет»
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ)	– ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.	– ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
Тольяттинский государственный университет	– ФГБОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет»
Тюменский государственный архитектурно-строительный университет (ТюмГАСУ)	– ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет»
Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ)	– ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»
Уральский государственный горный университет (УГГУ)	– ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет (УГГУ)», г. Екатеринбург
Уфимский государственный авиационный технический университет	– ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
Челябинская государственная агроинженерная академия (ЧГАА)	– ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия»
Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ)	– ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), г. Челябинск

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ, СПРАВОЧНЫЕ ИЗДАНИЯ,  
разработанные кафедрой «Энергосбережение» в 2000-2012 гг.**

1. Энергосбережение: Справочное пособие / В.Е.Батищев, Б.Г.Мартыненко, С.Л.Сысков, Я.М.Щелоков. Екатеринбург: Энерго-Пресс, 2-е изд. 2000. 340 с.
2. Энергетический анализ. Методика и базовое информационное обеспечение: Учебное пособие / В.Г.Лисиенко, Я.М.Щелоков, С.Е.Розин и др. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2001. 100 с.
3. Баскаков А.П., Щелоков Я.М. Качество воды в системах отопления и ГВС. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. 36 с.
4. Энергосбережение в металлургическом комплексе: Учебно-методическая разработка / Я.М. Щелоков. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2002. 43 с.
5. Энергосбережение: Метод. указания к выполнению раздела «Энергосбережение» в дипломн. проектах и работах / Н.И.Данилов, Я.М.Щелоков, В.Ю.Балдин. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2003. 48 с.
6. Кафедра «Энергосбережение»: Сборник статей по энергосбережению. Екатеринбург: РИА «Энерго-Пресс», 2003. 96 с.
7. Семь шагов к теплу и свету. Задачи и приоритеты региональной энергетической политики: Учебное пособие / Э.Э.Россель. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2003. 91 с.
8. Данилов Н.И., Тимофеева Ю.Н., Щелоков Я.М. Энергосбережение для начинающих / Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс, 2004. 80 с.; 2-е изд. 2005. 100 с.
9. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энергосбережение для всех / Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс, 2004. 120 с.
10. Вторичные энергетические ресурсы: Учебное пособие / Э.Э. Россель. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2004. 70 с.
11. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Экологические проблемы использования топлива: Учеб. пособие / Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс, 2004. 109 с.
12. Данилов Н.И., Щелоков Я.М., Лисиенко В.Г. Развитие энергоэффективных технологий и техники (введение в хрестоматию энергосбережения для юношества). Екатеринбург: Уралэнерго-Пресс, 2004. 144 с.
13. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энциклопедия энергосбережения / Екатеринбург: ИД «Сократ», 2004. 368 с. (в тв. обложке)
14. Данилов Н.И., Столбов Ю.К., Щелоков Я.М. Энергоэффективность–важнейший фактор устойчивого развития старопромышленного региона. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2004. 58 с.
15. Энергоэффективность – залог успешного развития экономики: учебное пособие / Э.Э. Россель. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2005. 72 с.
16. Данилов Н.И., Королев Е.А., Щелоков Я.М. Энергетизм современной жизни. Развитие теории энергоэффективности. Екатеринбург: УрГЭУ, 2005. 185 с.
17. Данилов Н.И. Современный мировой опыт в решении проблем энергосбережения: Научный доклад. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2005. 71 с.
18. Данилов Н.И. Энергоэффективность – основа успешного развития экономики Среднего Урала: Научный доклад. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2005. 97 с.
19. Данилов Н.И. Энергосбережение – религия XXI века: Учебное пособие (иллюстрированная лекция). Екатеринбург: НП «ИЭЭТ», 2006. 63 с.

20. Основы энергосбережения: Учебник / Н.И.Данилов, Я.М.Щелоков. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 564 с. (в бумажн. обложке); ГУ СО «Институт энергосбережения», 2008. 526 с. (в тв. пер.)
21. Энергосбережение в жилищно-коммунальном комплексе / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков, В.Ю. Балдин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 102 с. (цв. обл.)
22. Сотовая энергетика / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 32 с.
23. Данилов Н.И., Королев Е.А., Щелоков Я.М. Золотое сечение: теория и практика / Учебное пособие. Екатеринбург: УрО РИА, 2006. 77 с. (цв. обл.)
24. Региональная энергетическая политика: учебное пособие / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков; Ю.К. Столбов, под общ. ред. Н.И. Данилова. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. 77 с.
25. Бинарная энергетика / Н.И.Данилов, Я.М. Щелоков. Екатеринбург: ГУ СО «Институт энергосбережения», 2007. 36 с.; УГТУ-УПИ, 2008. 42 с.
26. Данилов Н.И., Бегалов В.А., Столбов Ю.К., Щелоков Я.М., Чазов А.А. Энергетическая составляющая успеха: взгляд в 2030 год. Екатеринбург: ГУ СО «Институт энергосбережения», 2008. 63 с.
27. Данилов Н.И., Бегалов В.А., Столбов Ю.К., Чазов А.А., Бикбулатов С.Р. Энергетическая составляющая успеха: О политике энергосбережения в Свердловской области. Екатеринбург: ГУ СО «Институт энергосбережения», 2008. 99 с.
28. Данилов Н.И., Балдин В.Ю., Бегалов В.А., Велькин В.И., Проскуряков В.С., Щелоков Я.М. Организация работ по энергосбережению в муниципальных образованиях Свердловской области: электронный учебник. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008 [Электронный ресурс] Режим доступа: <a href="http://www.midural.ru/midural-new/training/textbook/">http://www.midural.ru/midural-new/training/textbook/</a>
29. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Основы энергосбережения: учебник. Екатеринбург: ИД «Автограф», 2009. 528 с.; 2010. 550 с.; 2011. 592 с.
30. Данилов Н.И., Тимофеева Ю.Н., Щелоков Я.М. Централизованное теплоснабжение в рыночных условиях: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 59 с.
31. Щелоков Я.М. Энергетический анализ хозяйственной деятельности: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: РУО АИН им. А.М.Прохорова, 2009. 390 с.; 388 с. (2-е изд.)
32. Щелоков Я.М. Энергетический анализ хозяйственной деятельности (Энергетические проблемы энергоемких производств): учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 390 с.
33. Данилов Н.И., Королев Е.А., Щелоков Я.М. Золотое сечение и современность: Природа, Экономика. Энергетика: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 148 с.
34. Данилов Н.И., Щелоков Я.М., Лисиенко В.Г. Цветная металлургия: проблемы, технологии, энергетические системы: учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, ГБУ СО «Институт энергосбережения», 2011. 84 с.
35. Данилов Н.И., Тимофеева Ю.Н., Усольцев А.П., Щелоков Я.М., Балдин В.Ю. Использование ресурсов и энергии: учебное пособие для элективного курса «Энергосбережение» в старших классах. Екатеринбург: МРСК Урала; изд-во АМБ, 2010. 184 с.; Администрация города Екатеринбурга; изд-во АМБ, 2011. 184 с.
36. Щелоков Я.М., Данилов Н.И. Энергосбережение в бюджетной сфере: справочное издание. Екатеринбург: УрФУ, СРО НП «Союз «Энергоэффективность», Энергосервисная компания Урала, 2012. 237 с.
37. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энергосбережение. Теория и практика: учебное пособие. Том 1. Теоретические основы энергосбережения; под общ. ред. Н.И. Данилова. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 296 с.

***Издания энциклопедического и справочного характера:***

38. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справ. изд.: В 2 кн. М.: Теплоэнергетик, 2002-2005. Кн. 1. 688 с.; Кн. 2. 768 с.
39. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Топливо. Рациональное сжигание, управление и технологическое использование: Справ. изд.: В 3-х кн. М.: Теплотехник, 2003-2004. Кн. 1. 608 с.; Кн. 2. 832 с.; Кн. 3. 592 с.

40. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология. Справ. изд.: В 2-х кн. М.: Теплотехник, 2004. Кн. 1. 688 с.; Кн. 2. 592 с.
41. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Плавильные агрегаты: теплотехника, управление и экология. Справ. изд.: В 4-х кн. М.: Теплотехник, 2005.
42. Аксенов В.И., Щелоков Я.М., Галкин Ю.А. и др. Водное хозяйство промышленных предприятий: Справ. изд.: В 3-х кн. М.: Теплотехник, 2007.
43. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Сооружение промышленных печей. Проектирование плавильных комплексов: Справ. изд. В 3-х кн. М.: Теплотехник, 2007.
44. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. и др. Температура: Теория, практика, эксперимент. Справ. изд. В 3-х томах. М.: Теплотехник, 2007, 2008.
45. Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. и др. Сооружение промышленных дымовых труб. В 3-х кн. М.: Теплотехник, 2007. Кн. 1. 333 с. Кн. 2. 380 с. Кн. 3. 464 с.
46. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Оборудование промышленных предприятий: Справ. изд. В 6 томах. Т. 1. Развитие цветной металлургии. Тяжелые цветные металлы. М.: Теплотехник, 2008. 720 с.
47. Щелоков Я.М. Экологические проблемы энергоемких производств. М.: Теплотехник, 2008. 304 с.
48. Щелоков Я.М., Данилов Н.И. Энергетическое обследование: Справочное издание. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 243 с.
49. Щелоков Я.М., Данилов Н.И. Энергетическое обследование: справочное пособие: в 2-х томах. Т. 1. Теплоэнергетика. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 264 с.
50. Щелоков Я.М. Энергетическое обследование: справочное пособие: в 2-х томах. Т. 2. Электротехника. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 150 с.

#### ***Издания нормативно-технического характера***

51. СТП 070-001-2000. Стандарт предприятия (типовой). Организация работ по экономии топливно-энергетических ресурсов. Екатеринбург: Энерго-Пресс, 2000. 16 с.
---

#### ***Издания, выпущенные совместно с другими кафедрами УГТУ-УПИ (УрФУ)***

52. Энергосбережение и повышение эффективности использования энергоресурсов в зданиях и сооружениях: Учебное пособие / Под ред. А.П. Баскакова, Н.И.Данилова, С.Е.Щеклеина. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2002. 326 с.
53. Вопросы энергосбережения при теплоснабжении помещений: Учебно-методическое пособие / В.А.Бегалов, В.С.Проскуряков, Я.М.Щелоков. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003. 80 с.
54. Вопросы энергоэффективности в системах освещения: Учебное пособие / В.А.Бегалов, Р.В.Молотилов, В.С.Проскуряков. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2004. 104 с.
55. Тепловая защита зданий: учебное пособие / Е.В.Михайлишин, В.А.Бегалов, В.С.Проскуряков. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. 38 с.
56. Регулирование тепловой нагрузки: методические указания / Е.В.Михайлишин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 16 с.
57. Щелоков Я.М., Лисиенко В.Г. Эффективность и энергетические основы устойчивой экономики: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. 400 с.

#### ***Сборники научных трудов 2010-2011 гг.***

58. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 22-26 ноября 2010 г. / Науч. ред. проф., д-р экон. наук Н.И.Данилов. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 440 с.
59. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 13-16 декабря 2011 г. / Науч. ред. В.Ю. Балдин, И.С. Селезнева. Под общ. ред. проф., д-ра экон. наук Н.И. Данилова. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 508 с.

*Научное издание*

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ.  
НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Научные редакторы *В.Ю. Балдин, И.С. Селезнева*

Компьютерная верстка *Г.Н. Мизгулиной*

Некоторые статьи печатаются в авторской редакции

---

Подписано в печать 14.12.2012.  
Бумага офсетная  
Тираж 200 экз.

Формат 60х84 1/16  
Усл. печ. л. 24,87  
Заказ № 3027

---

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Отпечатано в типографии ИПЦ УрФУ  
620000, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 4  
Тел. +7 (343) 350-56-64, 350-90-13  
Факс: +7 (343) 358-93-06  
E-mail: [press.info@usu.ru](mailto:press.info@usu.ru)